



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ESTUDIO DE AFECCIÓN DEL ESPIGÓN OESTE A LA PLAYA DE LA CONCHA, SUANCES

Trabajo realizado por:

Beatriz Fernández Bermejo

Dirigido:

César Vidal Pascual

Titulación:

Grado en Ingeniería Civil

Mención:

Hidrología

Santander, Septiembre de 2019

TRABAJO FIN DE GRADO

RESUMEN

Título del TFG: Estudio de afección del espigón oeste a la playa de la Concha, Suances.

Mención: Hidrología.

Autora: Beatriz Fernández Bermejo.

Directores: César Vidal Pascual.

Convocatoria: Septiembre 2019.

Palabras Clave: Suances, dique, espigón, playa de equilibrio, canal, sedimentos, transporte, perfil, forma en planta, Bernabeu.

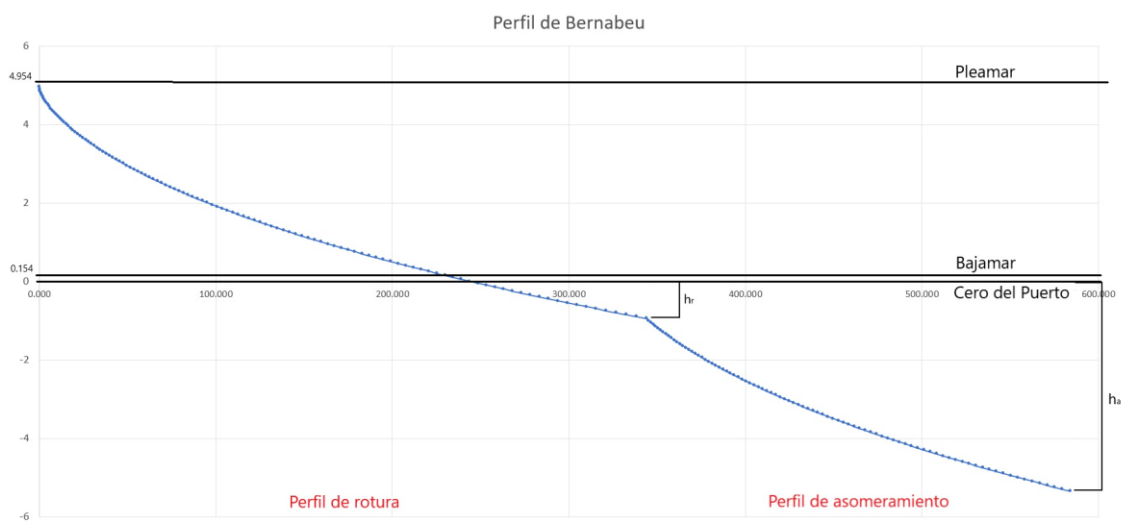
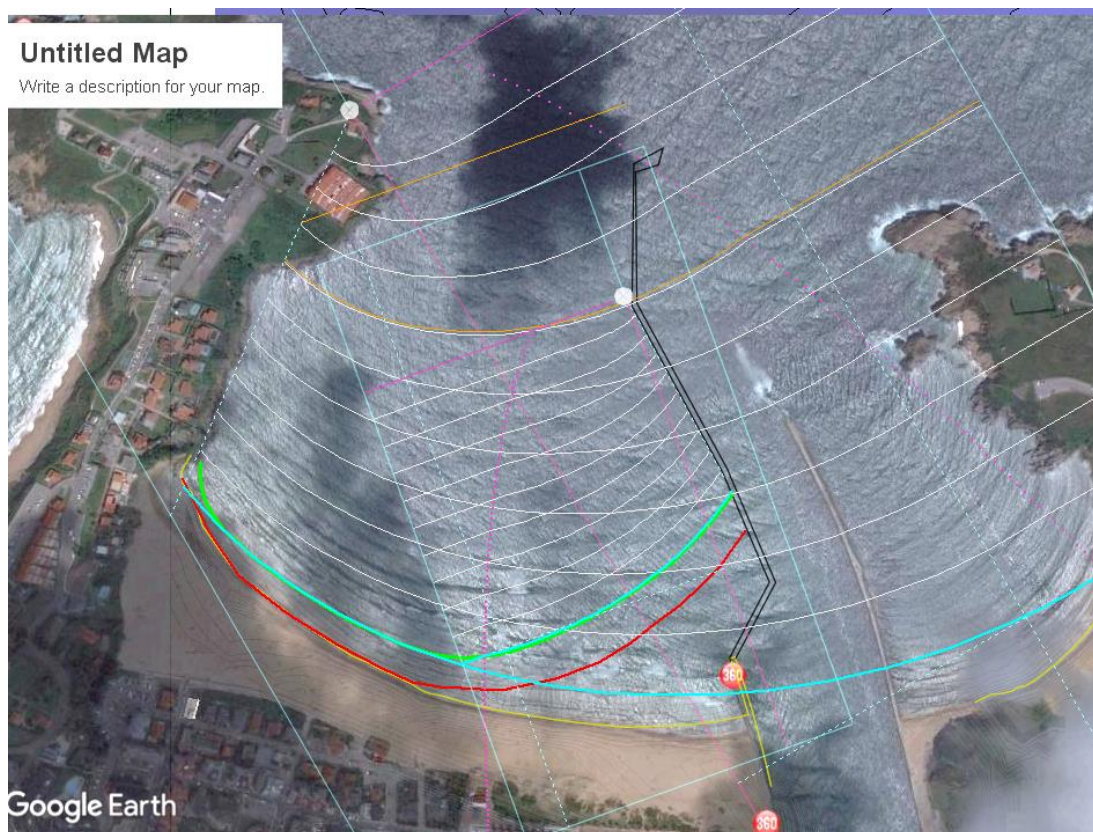
Planteamiento del problema:

Tras el diseño del espigón de la margen oeste de la desembocadura de la Ría de San Martín, es necesario estudiar cómo afecta dicha estructura a la playa colindante de la Concha y el cambio que va a experimentar esa área de la ensenada. Para ello, en este estudio se analizan los agentes que determinan la forma de la playa, se explica el concepto de playa de equilibrio y definen los métodos empleados para la definición de la nueva playa tanto en planta como en perfil.



Conclusiones del estudio:

Se ha aplicado la espiral parabólica de Hsu y Evans y el perfil de Bernabeu con la ayuda de la herramienta SMC. Y tras una compensación manual de volúmenes, se ha obtenido como resultado del estudio una playa de tipo intermedio que experimentará inicialmente un cambio en la forma en planta y ante el exceso de sedimento en el espacio encerrado por el espigón, un avance de dicha nueva planta estimado en 56 metros.



Fdo. Beatriz Fernández Bermejo

ABSTRACT

Title: Research of impact of the west breakwater in the Concha beach, Suances.

Major: Hydrology.

Author: Beatriz Fernández Bermejo.

Mentor: César Vidal Pascual.

Call: September 2019.

Key Words: Suances, dike, breakwater, equilibrium beach, canal, sediments, transport, plan form, profile, Bernabeu.

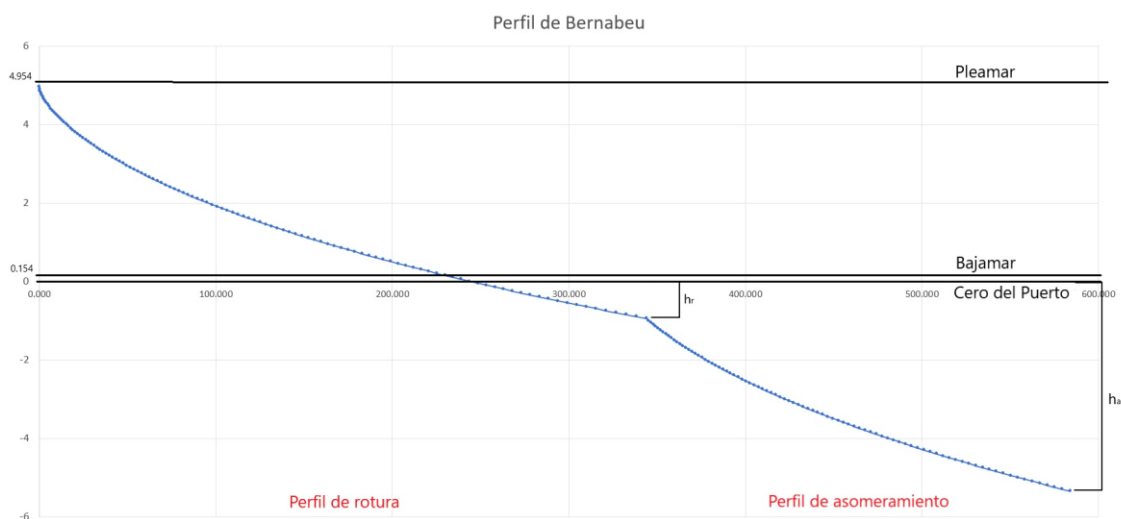
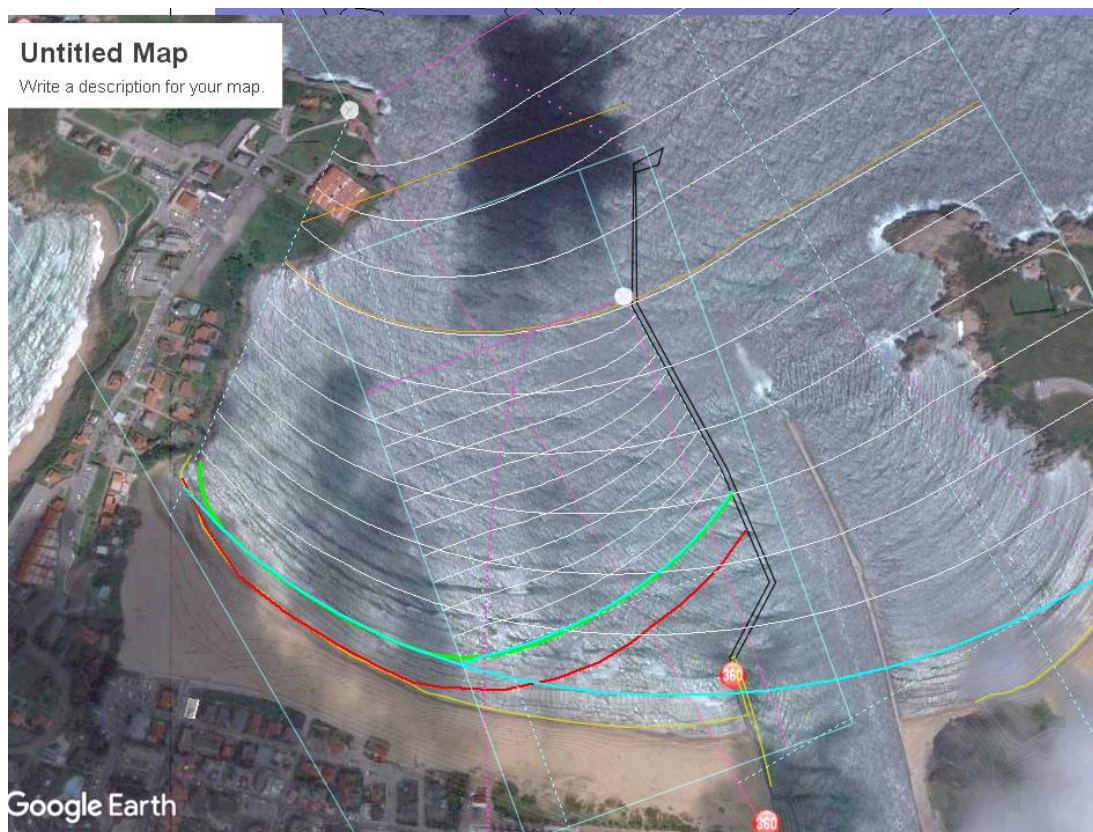
Problem statement:

After the design of the breakwater of the west bank of the mouth of the San Martín estuary, it is necessary to study how this structure affects the adjacent beach of La Concha and the change that area of the cove will experience. For this purpose, this study analyzes the agents that determine the shape of the beach, explains the concept of equilibrium beach and defines the methods used for the definition of the new beach both in plan and in profile.



Conclusions:

Hsu and Evans parabolic spiral and Bernabeu profile have been applied with the help of the SMC tool. And after a manual compensation of volumes, we have obtained as a result of the study an intermediate type beach that will initially undergo a change in the plan form and due to the excess of sediment in the space enclosed by the breakwater, an advance of the new plan form estimated in 56 meters.



Fdo. Beatriz Fernández Bermejo



LISTADO DE REFERENCIAS

LISTADO DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1 _ LOCALIZACIÓN

1. INTRODUCCIÓN
 - 1.1. ÁMBITO AUTONÓMICO
 - 1.2. ÁMBITO COMARCAL
 - 1.3. ÁMBITO MUNICIPAL
 - 1.4. ÁMBITO LOCAL

CAPÍTULO 2 _ ESTUDIO DEL MEDIO FÍSICO

1. ESTUDIO DE LA BATIMETRÍA
 - 1.1. TRATAMIENTO DE LA BATIMETRÍA
 - 1.2. ESTUDIO DE LA BATIMETRÍA DE LA ENSENADA
2. ESTUDIO MORFOLÓGICO Y GEOFÍSICO
 - 2.1. MORFOLOGÍA DE LA ZONA
 - 2.1.1. Ensenada
 - 2.1.2. Playa de la Concha
 - 2.1.3. Playa de Cuchía
 - 2.1.4. Barra Exterior
 - 2.1.5. Desembocadura de la Ría
 - 2.1.6. Morfología de la Zona Interior de la Ría
3. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO
 - 3.1. TEMPERATURA
 - 3.2. PRECIPITACIONES
 - 3.3. HUMEDAD ATMOSFÉRICA
 - 3.4. VIENTOS
4. ESTUDIO DEL NIVEL DEL MAR
 - 4.1. ORIGEN DE DATOS
 - 4.2. RÉGIMEN MEDIO DEL MAR
 - 4.2.1. Marea Astronómica
 - 4.2.2. Marea Meteorológica
 - 4.2.3. Sobrelevación por Rotura del Oleaje
 - 4.3. MÁXIMO NIVEL DEL MAR
 - 4.4. MÍNIMO NIVEL DEL MAR
5. ESTUDIO DEL OLEAJE
 - 5.1. FUENTE DE DATOS
 - 5.2. OLEAJE EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS
 - 5.3. OLEAJE EN LAS INMEDIACIONES DE SUANCES
 - 5.4. AUTORÍA

CAPÍTULO 3 _ DESCRIPCIÓN DEL ESPIGÓN

1. INTRODUCCIÓN
2. REQUERIMIENTOS DEL CANAL
3. DISEÑO DEL DIQUE

CAPÍTULO 4 _ ANÁLISIS DEL AVANCE DE LA PLAYA DE LA CONCHA

1. INTRODUCCIÓN
2. LA PLAYA DE EQUILIBRIO
 - 2.1. PLANTA DE EQUILIBRIO
 - 2.1.1. Teoría
 - 2.1.2. Aplicación a la playa de la Concha
 - 2.2. PERFIL DE EQUILIBRIO
 - 2.2.1. Teoría
 - 2.2.1.1. Perfil de rotura



- 2.2.1.2. Perfil de asomeramiento
- 2.2.2. Aplicación a la playa de la Concha
 - 2.2.2.1. Perfil de rotura
 - 2.2.2.2. Perfil de asomeramiento
 - 2.2.2.3. Perfil de equilibrio
- 3. CÁLCULO DE LA PLAYA DE EQUILIBRIO
- 4. RESULTADOS
 - 4.1. PLANTA DE EQUILIBRIO
 - 4.2. PERFILES DE EQUILIBRIO
 - 4.3. BALANCE DE VOLÚMENES



1 LISTADO DE REFERENCIAS

R. MEDINA ET AL. (2001): <<Modelado de la morfodinámica de playas por medio de formulaciones de <<Equilibrio>>.>>, *Física de la Tierra*, vol. 13, pp. 95-117.

B. FERNÁNDEZ (2019): <<Proyecto constructivo de la ampliación del espigón oeste de la desembocadura de la Ría de San Martín, Suances, Cantabria>>, Universidad de Cantabria.

A.M. BERNABEU ET AL. (2002): <<Efecto de la reflexión sobre la forma de equilibrio del perfil de la playa: validación para la costa de la Península Ibérica>>, *C&G*, 16 (1-4).

KAMPHUIS, J. WILLIAM.(2000): <<Introduction to coastal engineering and management>>, World Scientific.

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (2000): <<Documento de referencia: Procesos litorales>>, vol. 2, pp. 72-117.

S. CASTANEDO, F. MÉNDEZ (2018): <<Apuntes de la asignatura de Coastal Engineering>>, Ed. Universidad de Cantabria.

J.M. DE LA PEÑA OLIVAS, (2007): <<Guía técnica de estudios litorales : (manual de costas)>>, Ed. Madrid : Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

J. PATERNÁIN (2018): <<Estudio de afección del espigón oeste de Suances a la playa de la Concha>>, Universidad de Cantabria.

ROBERT G. DEAN, ROBERT A. DALRYMPLE, (2002): <<Coastal processes with engineering applications>> Ed. Cambridge University Press.

2 MATERIAL DE APOYO

Imágenes del Google Earth.

Programa SMC proporcionado por el Instituto Hidráulico de Cantabria.

Diversos programas para la propagación del oleaje proporcionados por el Instituto Hidráulico de Cantabria.

Batimetría de la zona.

Datos sobre tamaño del sedimento y densidad en la zona.



LISTADO DE FIGURAS

1. CAPÍTULO 1

- 1.1. España Comunidades Autónomas.
- 1.2. Situación de Comarca del Besaya.
- 1.3. Municipios de la Comarca.
- 1.4. Término Municipal de Suances.
- 1.5. Estuario de la Ría de San Martín de la Arena en Suances.

2. CAPÍTULO 2

- 2.1. Perfil del fondo que puede alterar la batimetría.
- 2.2. Batimetría en la ensenada de Suances.
- 2.3. Ensenada de Suances, Toponimia.
- 2.4. Zona de barras exteriores en la ensenada de Suances.
- 2.5. Clasificación Climática Köppen-Geiger, en la Península Ibérica, Baleares y Canarias (1981-2010).
- 2.6. Valores medios horas de radiación solar en Santander (1981-2010).
- 2.7. Valores medios de las temperaturas en Santander (1981-2010).
- 2.8. Valores medios de las precipitaciones en Santander (1981-2010).
- 2.9. Localización Punto SIMAR 3131035.
- 2.10. Rosa de los vientos en punto SIMAR 3131035
 - 2.10.1. Primavera.
 - 2.10.2. Verano.
 - 2.10.3. Otoño.
 - 2.10.4. Invierno.
- 2.11. Velocidades / Frecuencia de vientos en Punto SIMAR 3131035
 - 2.11.1. Primavera.
 - 2.11.2. Verano.
 - 2.11.3. Otoño.
 - 2.11.4. Invierno.
- 2.12. Situación y características mareógrafo de Santander REDMAR.
- 2.13. Esquema del Datum del mareógrafo de Santander REDMAR.
- 2.14. Niveles de referencia.
- 2.15. Cotas de los diferentes niveles del mar en Santander y el Puerto de Suances respecto a sus correspondientes CP.
- 2.16. Función de distribución del nivel total del mar.
- 2.17. Función de distribución del nivel de pleamares.
- 2.18. Componentes armónicas de la marea en Santander (NGU-84).
- 2.19. Función de densidad de la marea astronómica.
- 2.20. Función de distribución del nivel de marea astronómica.
- 2.21. Función de distribución de la marea meteorológica.
- 2.22. Función densidad de la marea meteorológica.
- 2.23. Gráfico resumen del contenido del archivo DOW.
- 2.24. Visualización de los valores de Hs, Tp y Dir seleccionados con respecto a toda la estadística de oleaje en el punto A.
- 2.25. Localización del Punto B.
- 2.26. Histograma Hs vs. Tp en el punto B.
- 2.27. Régimen extremal en el punto B.



- 2.28. Régimen Medio en el punto B.
- 2.29. Altura de ola significativa en el punto B.
- 2.30. Rosa de oleaje en el punto B.
- 2.31. Tabla estadísticos básicos en el punto B.
- 2.32. 100 puntos representativos para propagar por el área del espigón.
- 2.33. Puntos de la propagación del SMC con espigón.
- 2.34. Puntos de la propagación del SMC sin espigón.
- 3. CAPÍTULO 3
 - 3.1. Inoperatividad aceptable según la ROM.
 - 3.2. Esquema de los resguardos en planta para dos vías de navegación acorde con la ROM.
 - 3.3. Esquema resguardos en alzado según la ROM.
 - 3.4. Plano de dragado del canal.
 - 3.5. Plano en planta del espigón.
 - 3.6. Perfil Longitudinal.
 - 3.7. Secciones de los tramos 1 y 2.
 - 3.8. Secciones de los tramos 3 y 4.
- 4. CAPÍTULO 4
 - 4.1. Zona de transporte de la barra móvil.
 - 4.2. Diseño final del espigón.
 - 4.3. Escalas temporales de los procesos morfológicos.
 - 4.4. Espiral de Silvester.
 - 4.5. Forma en planta de Hsu y Evans.
 - 4.6. Tabla para los coeficientes de la curva de Hsu y Evans.
 - 4.7. Regiones de la forma en planta.
 - 4.8. Esquema de la forma en planta de equilibrio.
 - 4.9. Gráfico de la relación entre Y/L y α_{min} .
 - 4.10. Modelo del SMC.
 - 4.11. Situación del punto de la propagación.
 - 4.12. Rosa del oleaje en el punto.
 - 4.13. Histograma en el punto.
 - 4.14. Editor de playa actual.
 - 4.15. Playa de equilibrio actual en el SMC.
 - 4.16. Esquema de las regiones en la playa actual.
 - 4.17. Situación del punto origen de los datos.
 - 4.18. Rosa del oleaje en el punto 2.
 - 4.19. Histograma en el punto 2.
 - 4.20. Editor de playa nueva.
 - 4.21. Playa de equilibrio nueva en el SMC.
 - 4.22. Esquema de las regiones de la playa nueva.
 - 4.23. Forma en planta de equilibrio sin avance.
 - 4.24. Perfil de Dean.
 - 4.25. Esquema del perfil de Bernabeu.
 - 4.26. Tabla de clasificación de tipos de playa.
 - 4.27. Localización punto 2.
 - 4.28. Régimen medio en el punto 2.
 - 4.29. Histograma del punto 2.



- 4.30. Régimen medio para el punto 2.
- 4.31. Perfil de Bernabeu.
- 4.32. Esquema de los perfiles tomados para el estudio.
- 4.33. Perfil 1 sin avance.
- 4.34. Perfil 2 sin avance.
- 4.35. Perfil 3 sin avance.
- 4.36. Perfil 4 sin avance.
- 4.37. Perfil 5 sin avance.
- 4.38. Perfil 6 sin avance.
- 4.39. Perfil 7 sin avance.
- 4.40. Perfil 8 sin avance.
- 4.41. Perfil 9 sin avance.
- 4.42. Perfil 10 sin avance.
- 4.43. Perfil 10.1 sin avance.
- 4.44. Perfil 11 sin avance.
- 4.45. Forma en planta con avance de 56 metros.
- 4.46. Perfil 1 con avance de 56 metros.
- 4.47. Perfil 2 con avance de 56 metros.
- 4.48. Perfil 3 con avance de 56 metros.
- 4.49. Perfil 4 con avance de 56 metros.
- 4.50. Perfil 5 con avance de 56 metros.
- 4.51. Perfil 6 con avance de 56 metros.
- 4.52. Perfil 7 con avance de 56 metros.
- 4.53. Perfil 8 con avance de 56 metros.
- 4.54. Perfil 9 con avance de 56 metros.
- 4.55. Perfil 10 con avance de 56 metros.
- 4.56. Perfil 10.1 con avance de 56 metros.
- 4.57. Perfil 11 con avance de 56 metros.



1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la navegabilidad a través del canal de acceso a los puertos está limitada a momentos de pleamar para las embarcaciones de poco calado e, incluso prohibida, para embarcaciones más grandes. Estas limitaciones son resultado de algunos accidentes ocurridos en el canal, provocados por el fuerte oleaje entrante y los reducidos calados que tiene, a consecuencia de las grandes cantidades de arena acumuladas en la bocana provenientes de las barras móviles de arena. Al mismo tiempo se pretende sostener la playa de la Concha (margen izquierda de la ría) así como las barras móviles de arena que se desplazan continuamente por la ensenada de Suances.

Como solución a los problemas planteados en el apartado anterior se ha diseñado un espigón en la margen izquierda de la ría, de 710 metros de longitud, paralelo al existente en la Playa de Cuchía, con una curva en su extremo de radio 177 metros que aporta una mayor protección al canal frente al oleaje y estabilización de la arena de la playa de la Concha. La disminución de la anchura del canal provoca un aumento de la velocidad de las corrientes en el mismo que reduce la acumulación de sedimentos.

Se trata de un espigón en talud rebasable para conseguir la menor cota de coronación posible. El manto principal está compuesto por piezas de escollera y cubípodos.

Con este diseño se consigue, con el mínimo impacto visual, una mayor operatividad del canal y una menor necesidad de dragados.

Tras el diseño, tan solo falta analizar cómo va a afectar dicho espigón a la morfología de la playa de la Concha para lo cual estamos realizando el presente estudio.



CAPÍTULO 1
LOCALIZACIÓN

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. ÁMBITO AUTONÓMICO	2
1.2. ÁMBITO COMARCAL	2
1.3. ÁMBITO MUNICIPAL	3
1.4. ÁMBITO LOCAL	4



1 INTRODUCCIÓN

Cuando se plantea cualquier obra, es necesario conocer y analizar el entorno donde se pretende realizar el proyecto, con el fin de contemplar todas las circunstancias particulares que puedan afectar en dicha área y su repercusión durante la ejecución o vida útil del proyecto.

El presente proyecto de construcción tiene como objeto las obras de ampliación del espigón oeste de la margen izquierda de la Ría de San Martín de la Arena en Suances, municipio costero ubicado en Cantabria.

Seguidamente se analizará el ámbito autonómico, comarcal y local, donde se emplaza la obra de construcción.

1.1 ÁMBITO AUTONÓMICO

Cantabria es una comunidad autónoma formada por una única provincia y se encuentra situada en la Cornisa Cantábrica, norte de la Península Ibérica.



Figura 1.1 España Comunidades Autónomas.

El territorio de Cantabria en toda su extensión es de carácter montañoso y costero, con un importante patrimonio natural. Actualmente tiene una población de 580.229 habitantes distribuidos en sus 102 municipios.

Tiene una superficie de 5.321 km², limita al norte con el Mar Cantábrico a través de 285 kilómetros de costa y se sitúa al norte de la Cordillera Cantábrica, es limítrofe al sur con Castilla y León en las provincias de León, Palencia y Burgos. Por el este limita con País Vasco, con la provincia de Vizcaya y al oeste con la comunidad autónoma de Asturias.

1.2 ÁMBITO COMARCAL

Suances junto a los municipios de Anievas, Arenas de Iguña, Bárcena de Pie de Concha, Cartes, Cieza, Los Corrales de Buelna, Molledo, Polanco, San Felices de Buelna y Torrelavega configuran la Comarca del Besaya.

Dicha comarca se encuentra situada en zona central de la Comunidad Autónoma de Cantabria y su capital es Torrelavega.



Figura 1.2 Situación de Comarca del Besaya.



La comarca abarca buena parte de la cuenca del río Besaya hasta su confluencia con el río Saja en el término municipal de Torrelavega, y desde este punto hasta la desembocadura del Saja en el mar Cantábrico, en la localidad de Suances.



Figura 1.3 Municipios de la Comarca.

Esta zona tiene una extensión aproximada de 558,97 km² y una población total de 93.487 habitantes (INE 2013). Torrelavega es el municipio con mayor población de los que forman la Comarca del Besaya.

1.3 ÁMBITO MUNICIPAL

Suances se encuentra en la desembocadura del río Saja (Ría de San Martín de la Arena), es el municipio situado más al norte, de los que integran la Comarca del Besaya.

Limita al norte con el mar Cantábrico, al este con el término municipal de Miengo, teniendo como frontera natural la Ría de San Martín de la Arena; al sureste con el municipio de Polanco, y al suroeste y oeste con Santillana del Mar.

El municipio de Suances tiene una extensión de 24,6 km² y una población de 8.716 habitantes (INE 2018).

Esta población se distribuye entre las seis localidades que conforman el término municipal, siendo Suances la localidad que alberga mayor número de habitantes.

Según el INE 2018, la población en el municipio se distribuye de la siguiente forma: Cortiguera (857 hab.), Hinojedo (1.968 hab.), Ongayo (215 hab.), Puente Avíos (168 hab.), Tagle (515 hab.) y Suances (4.993 hab.).



Figura 1.4 Término Municipal de Suances.



1.4 ÁMBITO LOCAL

El estuario de la Ría de San Martín de la Arena se extiende desde las localidades de Viveda y Barreda, poco después del punto donde se encuentran los ríos Saja y Besaya, y es aquí donde comienza a ser sensible a las mareas. Desde este punto, la Ría discurre a lo largo de aproximadamente 6 kilómetros pasando por los lugares donde se sitúan el antiguo cargadero de Hinojedo y los puertos de Requejada y Suances hasta desembocar en la ensenada de Suances.



Figura 1.5 Estuario de la Ría de San Martín de la Arena en Suances

En el último tramo de la ría se encuentra la canal de navegación que da acceso al Puerto de Suances. Dicha canal está resguardada por espigones en ambas márgenes, que tratan de reducir la entrada de sedimento procedente de las playas colindantes en la canal.

Es precisamente en la margen izquierda, colindante con la playa de la Concha, donde se pretende ejecutar las obras de prolongación de dicho espigón.



CAPÍTULO 2

ESTUDIO DEL MEDIO FÍSICO

ÍNDICE

1. ESTUDIO DE LA BATIMETRÍA	2
1.1. TRATAMIENTO DE LA BATIMETRÍA	2
1.2. ESTUDIO DE LA BATIMETRÍA DE LA ENSENADA	3
2. ESTUDIO MORFOLÓGICO Y GEOFÍSICO	4
2.1. MORFOLOGÍA DE LA ZONA	4
2.1.1. Ensenada	5
2.1.2. Playa de la Concha	5
2.1.3. Playa de Cuchía	5
2.1.4. Barra Exterior	6
2.1.5. Desembocadura de la Ría	6
2.1.6. Morfología de la Zona Interior de la Ría	7
3. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO	7
3.1. TEMPERATURA	8
3.2. PRECIPITACIONES	9
3.3. HUMEDAD ATMOSFÉRICA	10
3.4. VIENTOS	10
4. ESTUDIO DEL NIVEL DEL MAR	13
4.1. ORIGEN DE DATOS	14
4.2. RÉGIMEN MEDIO DEL MAR	15
4.2.1. Marea Astronómica	16
4.2.2. Marea Meteorológica	18
4.2.3. Sobrelevación por Rotura del Oleaje	19
4.3. MÁXIMO NIVEL DEL MAR	19
4.4. MÍNIMO NIVEL DEL MAR	20
5. ESTUDIO DEL OLAJE	20
5.1. FUENTE DE DATOS	20
5.2. OLAJE EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS	21
5.3. OLAJE EN LAS INMEDIACIONES DE SUANCES	24
5.4. AUTORÍA	25



1 BATIMETRÍA

La información sobre la batimetría es fundamental a la hora de realizar cualquier estudio en el que necesitemos hacer propagación del oleaje.

En el desplazamiento hacia la costa, el oleaje está condicionado por los cambios que sufre debido a las irregularidades del fondo marino y la orografía costera.

Por lo tanto, partir de una batimetría de alta definición es muy importante cuando el oleaje se encuentra en aguas intermedias o reducidas dado que el oleaje se comporta de manera muy distinta dependiendo de la configuración de la batimetría.

Los datos batimétricos utilizados en el presente proyecto, para la representación del fondo marino, se han obtenido a partir de las cartas náuticas 939 y 659, publicadas por el Instituto Hidrográfico de la Marina, del litoral español disponibles en la base de datos BACO (IH Cantabria). Estas cartas han sido complementadas con la batimetría de detalle proporcionada por la empresa Ingeconsul S.L mediante la realización de una campaña batimétrica en el año 2012.

Toda la información batimétrica y bases de datos ha sido facilitada por I.H. Cantabria.

1.1 TRATAMIENTO DE LA BATIMETRÍA

En primer lugar, es importante reseñar que las cartas náuticas publicadas por el Instituto Hidrográfico de la Marina, toman como nivel de referencia el nivel de la BMVE (Bajamar Máxima Viva Equinoccial).

Debido a que la batimetría de detalle se superpone sobre las cartas náuticas, es necesario corregir sus cotas, dado que estas se encuentran referenciadas al Cero del Puerto de Suances que se sitúa a 1.90 m por debajo del NMMA.

Se ha tenido que definir también las estructuras presentes en la ensenada, como el Dique de la margen Este de la desembocadura debido a que dicho dique no se encontraba definido en la batimetría de detalle, así como los elementos morfológicos presentes en la ensenada que pueden afectar a la propagación del oleaje.

Teniendo especial cuidado a la hora de definir las cotas a pie de estructura o de cualquier elemento, para que el modelo no interpole progresivamente hasta la cota de coronación y así, crear pendientes inexistentes que puedan afectar a la propagación y los modelos de corrientes (Figura 2.1).

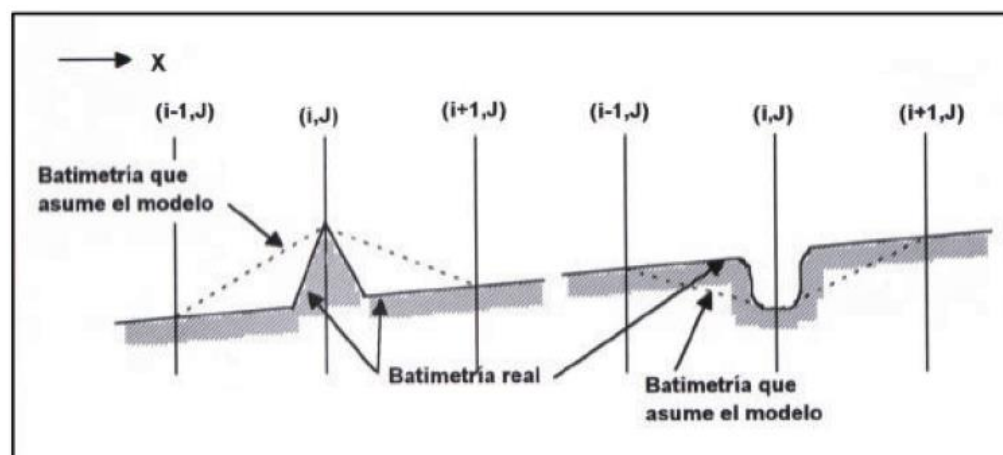


Figura 2.1 Perfil del fondo que puede alterar la batimetría

Todos los tratamientos realizados a la batimetría se han desarrollado mediante la interfaz SMC desarrollada por el GIOC. Posteriormente la batimetría final ha sido discretizada mediante GIS para ser usada luego en los modelos de propagación de oleaje y como resultado, en la Figura 2.2 se muestra la batimetría para la situación actual.

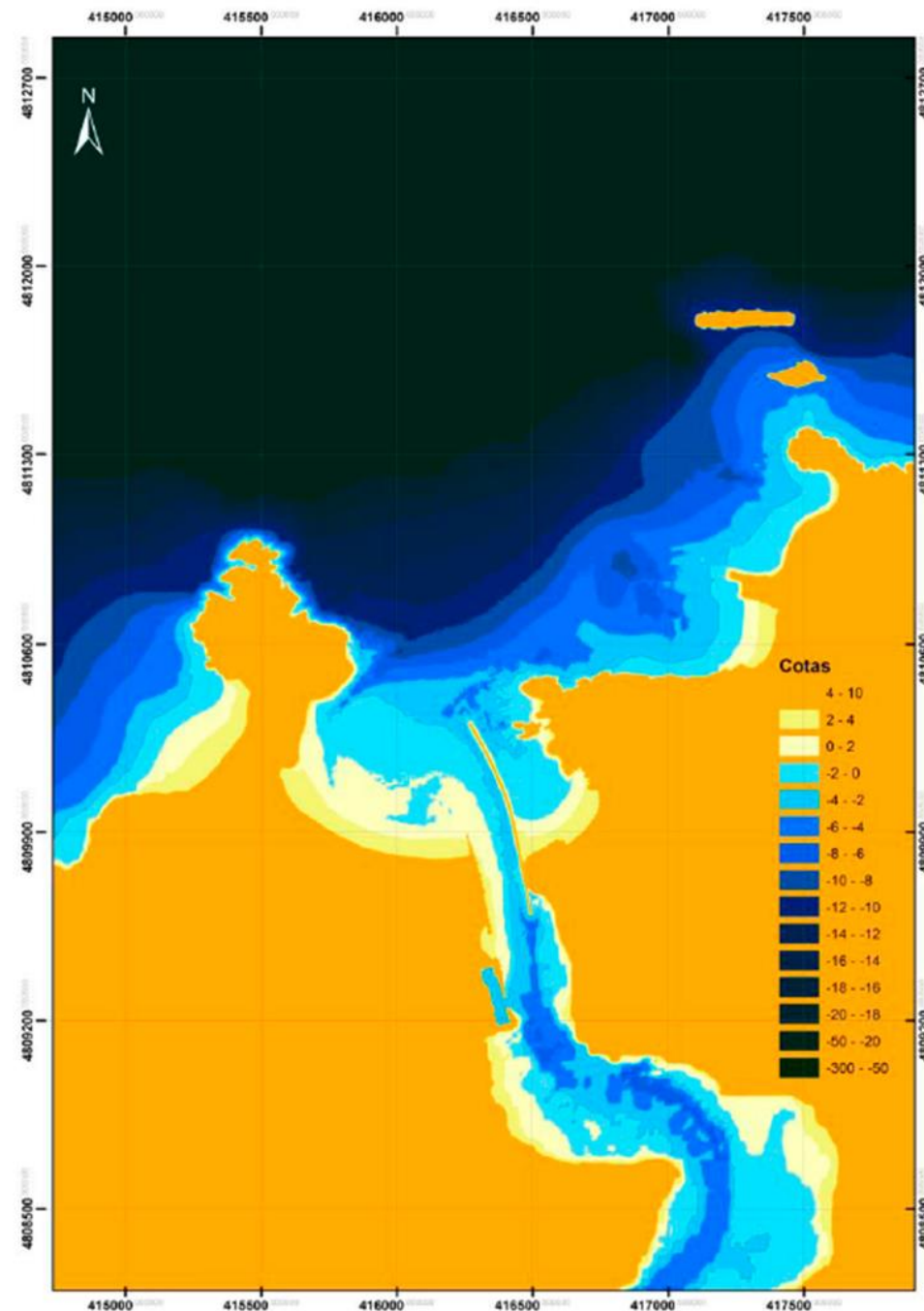


Figura 2.2 Batimetría en la ensenada de Suances

1.2 ESTUDIO DE LA BATIMETRÍA EN LA ENSENADA

En las inmediaciones de Suances la plataforma se encuentra alineada dirección Suroeste - Noreste.

La batimetría presenta una serie de elementos que van a condicionarán la propagación del oleaje en esta zona, destacándose la presencia de los bajos formados en la ensenada de Suances.

Desde esta línea imaginaria Oeste Este y partiendo de la Punta del Dichoso, los fondos se encuentran a una profundidad media de 14 metros, la profundidad disminuye rápidamente a medida que nos adentramos en la ensenada, quedando esta, delimitada por la línea imaginaria entre la Punta del Torco y la Punta de Afuera, donde encontramos profundidades de unos 4 metros.

Tanto la Punta del Torco como la Punta de Afuera contribuyen a proteger toda la ensenada de la acción del oleaje permitiendo la entrada solo de aquellos con clara componente Norte.

A partir de esta línea imaginaria entre la Punta del Torco y la Punta de Afuera la profundidad va disminuyendo de una manera progresiva y de forma muy tendida hasta la orilla de la playa de unos 770 metros de longitud. Con excepción de las barras de arena que se acumulan en este tramo.

La delimitación creada por los salientes de la Punta del Torco y la Punta de Afuera, confieren una forma en “U”, que hace que la arena que es aportada por la ría no pueda desplazarse a otros lugares. Estas sedimentaciones de arena se acumulan en la ensenada formando bajos y barras, siendo este el principal problema para la navegación y que se intenta subsanar con la construcción de la prolongación del dique Oeste.



2 ESTUDIO MORFOLÓGICO Y GEOFÍSICO

En este apartado se tratará de describir la morfología del entorno en la desembocadura de la Ría de San Martín de la Arena, de igual manera se pretende caracterizar las diferentes dinámicas de las mareas, oleaje y transporte de sedimentos que puedan determinar el diseño del dique proyectado, así como la estabilidad de las playas adyacentes.

De la misma manera estudiaremos condiciones del terreno en lo que comprometen y condicionan la definición de las estructuras y rellenos previstos en el proyecto.

Una vez conocida la composición y espesor de las capas de los distintos materiales, es preciso conocer sus parámetros de comportamiento geotécnicos.

2.1 MORFOLOGÍA DE LA ZONA

El estuario de Suances abarca desde la confluencia de ríos Saja y Besaya, se encuentra en la costa Norte de España, en la comunidad autónoma de Cantabria, localizado en 4° 2' Oeste y entre los paralelos 43° 24' y 43° 27' Norte.

El estuario discurre prácticamente en dirección Sur a Norte a lo largo de aproximadamente 6 Km, desde la afluencia del río Besaya al Saja, a la altura de las localidades de Barreda y Viveda, hasta la zona delimitada entre la Punta del Torco y la Punta de Afuera.

La anchura media de la Ría de San Martín de la Arena a lo largo de su cauce es de unos 140 m, y presenta calados variables que oscilan entre los 2 y 5 m por debajo del cero del Puerto de Suances.

El estuario lo constituyen diferentes entidades morfológicas, algunas de ellas comunes con todos los estuarios existentes, sin embargo, otras son características de la zona de estudio.

Si comenzamos a analizar el estuario desde el mar exterior, podemos distinguir una gran ensenada. Esta ensenada delimita al Norte por la línea imaginaria trazada entre la Punta del Torco y la Punta de Afuera, y al Sur con la desembocadura de la ría.

En la zona Sur de la ensenada, adyacentes a la desembocadura existen dos playas, al Oeste la Playa de la Concha y al Este la Playa de Cuchía.

La zona de transición entre dicha ensenada y el interior de la ría, aguas arriba, es la zona más estrecha de la ría.

Aguas arriba en la actualidad existen dos dársenas de abrigo, una de ellas totalmente colmatada por arenas, actualmente denominada playa de la Ribera, y la segunda dársena situada más al Sur constituye el Puerto de Suances, destinado a la actividad pesquera y deportiva.

Aguas arriba, en el interior de la ría, existe una canal principal, delimitada por diques de encauzamiento, y unas llanuras mareales que se ven inundadas durante las pleamares.



Figura 2.3 Ensenada de Suances, Toponimia



Posteriormente analizaremos de manera más detallada cada uno de ellos.

2.1.1 ENSENADA

La ensenada de Suances, definida como la zona delimitada por las playas de la Concha y de Cuchía y la boca de la desembocadura de la ría por el Sur y por la Punta del Torco y la Punta de Afuera por el Norte, se puede asemejar a una cubeta con los contornos laterales inscritos en la prolongación sumergida de los acantilados.

Los ríos Saja y Besaya, establecieron su cauce por esta zona durante la última glaciación, aproximadamente hace unos setenta mil años. Desde entonces, y en respuesta al ascenso gradual del nivel del mar, la ría ha ido sedimentando el cauce para adecuar su perfil a diferentes posiciones del nivel medio del mar.

Por similitud con otras rías del Mar Cantábrico, es de esperar que en antiguo cauce se encuentre a una profundidad entre 15 y 25 m. En la actualidad este cauce se encuentra totalmente cubierto de sedimentos.

La erosión de los acantilados en los últimos cinco mil años ha terminado dando la forma que hoy día podemos observar. El material producto de la erosión de los acantilados y las aportaciones de río, ha servido para rellenar dicha cubeta con materiales sueltos.

Por otro lado, el control de los caudales de los ríos Besaya y Saja, mediante la construcción de presas, ha aminorado la aportación fluvial de sedimentos.

Entre la Punta del Torco al Oeste y la Punta de Afuera al Este, distantes entre sí unos 610 m, se crea un área de barras y bajos de arena, que tienen íntima relación con la dinámica de las playas y la desembocadura.

Por la zona central de la ensenada, delimitada por un espigón de escollera y mampostería construido en la margen derecha de la ría, discurre la canal de navegación. Este espigón separa las dinámicas de la Playa de La Concha y la desembocadura de la ría, de la dinámica de la Playa de Cuchía situada al Este de dicho espigón.

El fondo de la ensenada está formado por materiales sueltos, arenas, salvo la zona comprendida entre el dique Este y Punta de Afuera, donde el fondo es de naturaleza rocosa.

La zona comprendida entre la Punta del Torco y Punta de Afuera se observa una profundidad de aproximadamente 5 m. La pendiente media dentro de la ensenada hasta la batimétrica de - 5 m es aproximadamente de 1/110.

En la zona exterior de la ensenada, mar adentro, los fondos están constituidos por materiales sueltos formando una serie de bajos, que afectan a la propagación del oleaje que incide en la ensenada.

Uno de los bajos, el de mayor magnitud, se encuentra situado al Noroeste de la Punta del Dichoso. La pendiente media entre la batimétrica - 5 y - 20 es aproximadamente de 1/50.

2.1.2 PLAYA DE LA CONCHA

La Playa de La Concha en su parte Este se encuentra parcialmente apoyada en el pequeño espigón del Este y en continua interacción con el bajo exterior y la desembocadura de la Ría de San Martín de la Arena. La longitud total aproximada de la playa es de unos 770 m, con una longitud transversal de playa seca de 30 m y una zona intermareal de 80 m. Como consecuencia del efecto que el bajo exterior ejerce sobre la playa, esta no presenta un perfil típico de playa intermedia, como sería de esperar en una playa con un tamaño de grano D50 de 0.2 mm y sometida al oleaje que incide en la ensenada de Suances. El perfil de esta Playa es muy tendido, mucho más que la de las playas intermedias habituales.

2.1.3 PLAYA DE CUCHÍA

La Playa de Cuchía, se encuentra situada en la parte Este de la ensenada. La playa está totalmente encajada entre el Espigón Este de la ría y la zona de acantilados que se encuentran en la margen Este de la ensenada. El tamaño de grano medio de esta playa es de 0.2 mm, siendo la longitud total de la playa de unos 340 m. El oleaje que incide en esta playa generalmente rompe a la altura de la Punta de Afuera, siendo esta una prolongación rocosa del acantilado que se adentra en el mar, tras la rotura se vuelve a recomponer siendo la energía asociada a ella mucho menor.

Otra particularidad de esta playa es que la longitud por la que entra el oleaje es de 185 metros, longitud bastante menor que la de la playa. Es esta razón, la energía del oleaje es cedida lateralmente a medida que este se propaga hacia la playa.

Estas circunstancias hacen que la Playa de Cuchía presente un perfil reflejante y sometido al efecto de la difracción-refracción del oleaje.

2.1.4 BARRA EXTERIOR

Como hemos detallado anteriormente en el apartado 2.1.1, la ensenada queda delimitada por las Playas de La Concha y la Playa de Cuchía y la línea imaginaria que une la Punta del Torco y la Punta de Afuera. Toda la ensenada se ve afectada por el bajo exterior del estuario, que se sitúa aproximadamente a 450 m al Norte de la sección crítica de la desembocadura, a tres anchuras de la boca de la misma.

Por el efecto de esta barra exterior toda la ensenada se presenta como una gran explanada llena de arena. Esta barra es una estructura sedimentaria en permanente interacción con la playa de la Concha y la desembocadura, con una extensión Oeste-Este y Norte-Sur de aproximadamente 500 metros por 450 metros, con un volumen de aproximadamente de 480.000 m³.

La profundidad mínima que presenta el bajo es de + 0.5 m, por lo que en las bajamares vivas queda parcialmente emergido. Durante las pleamares todas las olas de alturas superiores a 3.5 m rompen sobre la barra, actuando esta como un filtro de energía del oleaje que alcanza la Playa de La Concha o bien se propaga aguas arriba por la canal de navegación.



Figura 2.4 Zona de barras exteriores en la ensenada de Suances

2.1.5 DESEMBOCADURA DE LA RÍA

La boca de la desembocadura, comprendida entre la ensenada y la zona interior de la ría, se encuentra encauzada por dos espigones situados a ambas márgenes de la ría, entre ellos hay una anchura de 150 metros y una profundidad máxima de - 4 metros por debajo del cero del puerto de Suances. Este tramo de la desembocadura tiene un área de la sección crítica es de 515 m², lo cual implica un calado medio de 3.4 m bajo el cero del puerto.

Las mayores profundidades se localizan en la margen derecha de la ría, zonas más próximas al dique Este, reduciéndose las profundidades cuando nos acercamos a la margen izquierda, lugar donde los fondos emergen en bajamar.

En la boca de la desembocadura se produce una gran interacción entre las corrientes mareales y el oleaje, implicado esto una fuerte dinámica sedimentaria.

Es en esta zona donde se presentan las peores condiciones para la navegación, debido esencialmente a que habitualmente el oleaje rompe en la boca de la desembocadura.

Esta circunstancia dificulta la salida y entrada de embarcaciones por la canal de navegación, incluso en algunas ocasiones lo hace imposible.



Es relativamente frecuente los casos de encallamiento en la entrada de la canal.

2.1.6 MORFOLOGÍA DE LA ZONA INTERIOR DE LA RÍA

La ría en su zona interior se encuentra la canal de navegación, esta canal discurre a lo largo de la ría de San Martín de la Arena, se encuentra delimitada en ambas márgenes por diques de escollera. La porosidad y numerosos cortes que esta tiene permiten la inundación por efecto de las mareas de las zonas intermareales situados tras estos diques de escollera.

Hasta el tramo del estuario que se encuentra situado más al Sur y próximo a Torrelavega, se hace sensible la acción de las mareas. Es en este tramo de la ría donde se sitúa el antiguo cargadero de Hinojedo y el muelle de Requejada, que daba servicio a las industrias de la zona hasta el año 2008, cuando dicho puerto fue cerrado, por motivos de seguridad prohibiendo la navegación de mercantes por la ría.

En estos muelles atracaban embarcaciones de hasta 2.000 toneladas con esloras de 80 m, mangas de 12 m y calados de 4 m, estando su entrada limitada a condiciones de pleamar.

En la margen izquierda de la ría, en la localidad de Suances, existen dos dársenas de abrigo. La que se encuentra situada más al Norte, es este el lugar donde se ubicaba el antiguo Puerto de Suances, en la actualidad se encuentra totalmente colmatada por la arena transportada por la acción del oleaje desde la Playa de La Concha.

La segunda dársena, situada al Sur, se utiliza en la actualidad como puerto deportivo- pesquero.

3 ESTUDIO CLIMATOLÓGICO

En este apartado analizaremos las condiciones climatológicas del entorno, a fin de caracterizar con detalle el medio físico donde se realiza el estudio.

Previo al estudio pormenorizado de los datos climatológicos en Suances, con los datos históricos obtenidos (AEMET) de las estaciones meteorológicas próximas.

Identificaremos la zona de estudio, según la clasificación climática de Köppen-Geiger, que a pesar de haber sido formulada por primera vez hace alrededor de cien años, sigue siendo una de las clasificaciones climáticas más utilizadas en estudios climatológicos.

La clasificación de Köppen define distintos tipos de clima a partir de los valores medios mensuales de la precipitación y de la temperatura.



Figura 2.5 Clasificación Climática Köppen-Geiger, en la Península Ibérica, Baleares y Canarias (1981-2010)



Según se observa (Imagen 2.5) el clima en prácticamente toda la costa del Cantábrico y en concreto Suances, se identifica como clima **Cfb** (templado sin estación seca con verano templado).

La temperatura media del mes más frío está comprendida entre 0 y 18°C y verano templado con temperatura media del mes más cálido apenas supera los 22°C y temperatura media superior a 10°C en más de 4 meses al año.

3.1 TEMPERATURA

Para el estudio del régimen térmico nos apoyamos en los datos de temperaturas medias, máximas y mínimas.

Un factor clave para determinar el régimen térmico de una zona es la radiación solar incidente, medida en horas de sol al mes. La latitud de Cantabria, cercana a los 43° N implica una gran estacionalidad en la radiación, dado que la duración de los días es muy variable.

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	9.7	13.6	5.8	106	72	12.3	0.4	0.8	0.8	2.1	2.9	85
Febrero	9.8	13.8	5.7	92	72	11.1	0.3	1.1	0.9	1.2	3.1	104
Marzo	11.3	15.7	7.0	88	71	9.9	0.1	0.9	1.2	0.4	2.9	135
Abril	12.4	16.6	8.3	102	72	11.9	0.0	1.3	0.7	0.0	2.4	149
Mayo	15.1	19.1	11.1	78	74	10.4	0.0	1.6	1.7	0.0	2.4	172
Junio	17.8	21.6	13.9	58	75	7.6	0.0	1.8	1.2	0.0	3.7	178
Julio	19.8	23.6	16.0	52	75	7.3	0.0	2.0	0.5	0.0	4.5	187
Agosto	20.3	24.2	16.4	73	76	7.6	0.0	1.4	0.8	0.0	3.8	180
Septiembre	18.6	22.8	14.4	83	76	8.9	0.0	1.5	1.9	0.0	4.6	160
Octubre	16.1	20.3	11.8	120	75	11.1	0.0	1.0	2.1	0.0	2.8	129
Noviembre	12.5	16.3	8.7	157	75	13.3	0.0	1.3	0.9	0.4	3.2	93
Diciembre	10.5	14.2	6.7	118	73	12.1	0.1	0.9	0.6	2.0	3.4	74
Año	14.5	18.5	10.5	1129	74	123.6	0.9	15.7	13.4	6.2	38.9	1649

Figura 2.6 Valores medios horas de radiación solar en Santander (1981-2010)

Leyenda

- T Temperatura media mensual/anual (°C)
- TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
- Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
- R Precipitación mensual/anual media (mm)
- H Humedad relativa media (%)
- DR Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
- DN Número medio mensual/anual de días de nieve
- DT Número medio mensual/anual de días de tormenta
- DF Número medio mensual/anual de días de niebla
- DH Número medio mensual/anual de días de helada
- DD Número medio mensual/anual de días despejados
- I Número medio mensual/anual de horas de sol

Los datos de los que disponemos son del Observatorio de Santander, y como se puede apreciar en la tabla de la Figura 2.6 el número de horas de radiación solar varían entre las 187 horas en julio y tan solo las 74 en el mes de diciembre.

Es de esperar que las temperaturas en la zona sigan una pauta similar a la radiación recibida.

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	9.7	13.6	5.8	106	72	12.3	0.4	0.8	0.8	2.1	2.9	85
Febrero	9.8	13.8	5.7	92	72	11.1	0.3	1.1	0.9	1.2	3.1	104
Marzo	11.3	15.7	7.0	88	71	9.9	0.1	0.9	1.2	0.4	2.9	135
Abril	12.4	16.6	8.3	102	72	11.9	0.0	1.3	0.7	0.0	2.4	149
Mayo	15.1	19.1	11.1	78	74	10.4	0.0	1.6	1.7	0.0	2.4	172
Junio	17.8	21.6	13.9	58	75	7.6	0.0	1.8	1.2	0.0	3.7	178
Julio	19.8	23.6	16.0	52	75	7.3	0.0	2.0	0.5	0.0	4.5	187
Agosto	20.3	24.2	16.4	73	76	7.6	0.0	1.4	0.8	0.0	3.8	180
Septiembre	18.6	22.8	14.4	83	76	8.9	0.0	1.5	1.9	0.0	4.6	160
Octubre	16.1	20.3	11.8	120	75	11.1	0.0	1.0	2.1	0.0	2.8	129
Noviembre	12.5	16.3	8.7	157	75	13.3	0.0	1.3	0.9	0.4	3.2	93
Diciembre	10.5	14.2	6.7	118	73	12.1	0.1	0.9	0.6	2.0	3.4	74
Año	14.5	18.5	10.5	1129	74	123.6	0.9	15.7	13.4	6.2	38.9	1649

Figura 2.7 Valores medios de las temperaturas en Santander (1981-2010)



Comparando en la tabla de la Figura 2.7 la media de la radiación solar mensual, con los valores de las temperaturas medias mensuales observamos dos particularidades: La primera es que la variación térmica es menor que las variaciones que experimenta el número de horas de radiación solar. La segunda es que tanto las temperaturas medias, como las máximas y las mínimas están desplazadas al menos un mes con respecto a los valores de la radiación solar.

Esta situación tiene su explicación en la proximidad del mar y su capacidad para actuar como “amortiguador térmico” y debido al mayor calor específico del agua del mar con respecto al aire. Se observa una variación de las temperaturas medias mensuales muy reducida, en torno a los 10° C.

3.2 PRECIPITACIONES

La cornisa cantábrica se distingue por lluvias abundantes y nubosidad persistente.

Aunque la zona cantábrica no es toda ella climáticamente uniforme, forman un conjunto que comparte tres factores característicos del clima oceánico Ibérico, su latitud, la influencia del mar y la topografía.

La cornisa cantábrica se encuentra en la zona de circulación de las borrascas y sus frentes asociados, causadas por la interacción de las masas de aire polar y subtropical marítimo.

La costa cantábrica de la Península Ibérica se ve afectada de manera importante durante los meses invernales, cuando los frentes polares, desciende a latitudes más próximas al ecuador. Durante esta época del año, los vientos de componente Oeste y Noroeste al llegar a la costa cargados de humedad provocan abundantes precipitaciones.

Durante las épocas estivales cuando los frentes polares, se retira hacia el Norte y la influencia subtropical se deja notar en la cornisa cantábrica.

Son estos los meses donde predominan los anticiclones y con vientos del Nordeste de origen continental y escasa humedad, lo que se traduce en un descenso generalizado de precipitaciones durante la estación.

La cercanía del mar resulta ser un factor decisivo de este contraste estacional, ya que los vientos procedentes del Oeste, Noroeste y Norte llegan a la costa del Cantábrico cargados de humedad, después de un largo recorrido sobre el Océano Atlántico.

Los vientos del Noreste y Este proceden de zonas continentales, por lo que su capacidad para provocar precipitaciones es muy reducida.

El agua del Mar Cantábrico se encuentra en una zona de temperaturas relativamente altas para su latitud a la que se encuentran, lo que contribuye en la creación de inestabilidad de las masas de aire marítimo.

La presencia de la Cordillera Cantábrica es otro elemento importante en la caracterización del clima de la cornisa cantábrica. Este obstáculo orográfico tiene la suficiente entidad, como para actuar de límite entre los climas oceánicos ibéricos y los mediterráneos.

La Cordillera Cantábrica actúa como barrera en los movimientos de las capas atmosféricas superficiales. Las que proceden del Norte y Noroeste chocan frontalmente, lo que en principio origina un persistente estancamiento de las masas nubosas. Es este uno de los motivos por lo que la cornisa cantábrica sea una de las zonas de la Península Ibérica con menor número de horas anuales de insolación.



Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	9.7	13.6	5.8	106	72	12.3	0.4	0.8	0.8	2.1	2.9	85
Febrero	9.8	13.8	5.7	92	72	11.1	0.3	1.1	0.9	1.2	3.1	104
Marzo	11.3	15.7	7.0	88	71	9.9	0.1	0.9	1.2	0.4	2.9	135
Abril	12.4	16.6	8.3	102	72	11.9	0.0	1.3	0.7	0.0	2.4	149
Mayo	15.1	19.1	11.1	78	74	10.4	0.0	1.6	1.7	0.0	2.4	172
Junio	17.8	21.6	13.9	58	75	7.6	0.0	1.8	1.2	0.0	3.7	178
Julio	19.8	23.6	16.0	52	75	7.3	0.0	2.0	0.5	0.0	4.5	187
Agosto	20.3	24.2	16.4	73	76	7.6	0.0	1.4	0.8	0.0	3.8	180
Septiembre	18.6	22.8	14.4	83	76	8.9	0.0	1.5	1.9	0.0	4.6	160
Octubre	16.1	20.3	11.8	120	75	11.1	0.0	1.0	2.1	0.0	2.8	129
Noviembre	12.5	16.3	8.7	157	75	13.3	0.0	1.3	0.9	0.4	3.2	93
Diciembre	10.5	14.2	6.7	118	73	12.1	0.1	0.9	0.6	2.0	3.4	74
Año	14.5	18.5	10.5	1129	74	123.6	0.9	15.7	13.4	6.2	38.9	1649

Figura 2.8 Valores medios de las precipitaciones en Santander (1981-2010)

Podemos observar en la tabla Figura 2.8 que las mayores precipitaciones, se produce en los meses de noviembre y diciembre, época del año en la que son más frecuentes y profundas las depresiones atlánticas y los vientos del sector norte son más intensos.

Como también podemos observar en la misma tabla que los valores medios de precipitación más bajos corresponden a la época estival, aun cuando podemos ver que no existe durante el año ningún mes con precipitaciones medias inferiores a 52 mm.

3.3 HUMEDAD ATMOSFÉRICA

La humedad atmosférica es la cantidad de vapor de agua contenido en el aire. Se trata de un factor muy relacionado con diversos mecanismos físicos, como la nubosidad, la precipitación, la visibilidad y la temperatura.

La humedad media anual se sitúa en torno al 74 %, que es un valor muy característico del norte de la Península Ibérica.

3.4 VIENTO

Los vientos predominantes en Suances proceden del Oeste y Noroeste, provocados por la situación habitual de una borrasca al Noroeste de la Península Ibérica. Habitualmente antes de la entrada de vientos del Noroeste u Oeste, suelen haber vientos procedentes del Sur o Suroeste, los cuales provocan una situación muy particular en la costa cantábrica.

Para el estudio de los vientos en profundidades indefinidas, se han utilizado los datos proporcionados por Puertos del Estado desde su página web.

Los datos están referidos al punto SIMAR 3131035, situado en Longitud 4,04° Oeste y Latitud 43,46° Norte, próximo a la zona de proyecto.

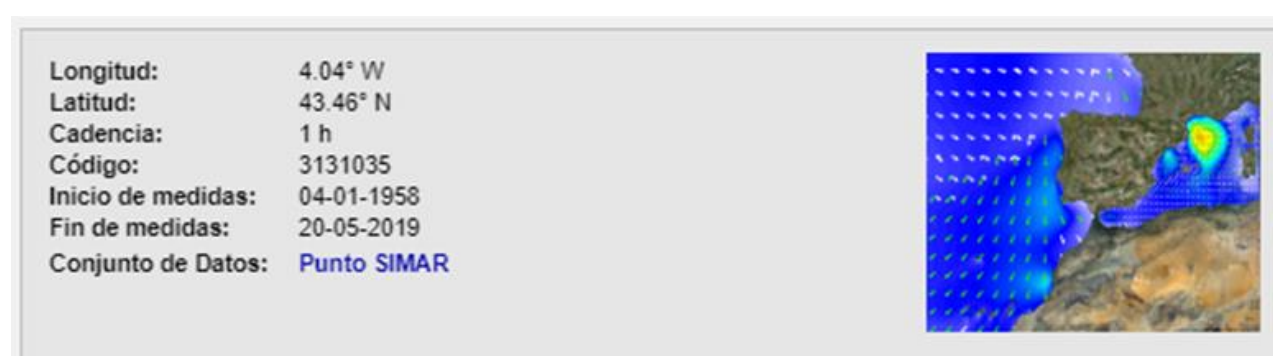


Figura 2.9 Localización Punto SIMAR 3131035



Los datos registrados corresponden a los valores tomados secuencialmente cada hora, desde el año 1958 hasta la actualidad.

Los registros se representan sobre una rosa de vientos, definida por sectores de 22.5 °, en la que aparecen los regímenes direccionales medios de la velocidad del viento en profundidades indefinidas.

En la Figura 2.10 se representa vientos registrados en el punto SIMAR 3131035.

Aunque el viento adquiere una mayor importancia en los sectores Oeste-noroeste, Oeste y Noroeste, siendo los vientos procedentes de estas direcciones los dominantes y reinantes de la zona, se puede observar la existencia de vientos en prácticamente cualquier dirección.

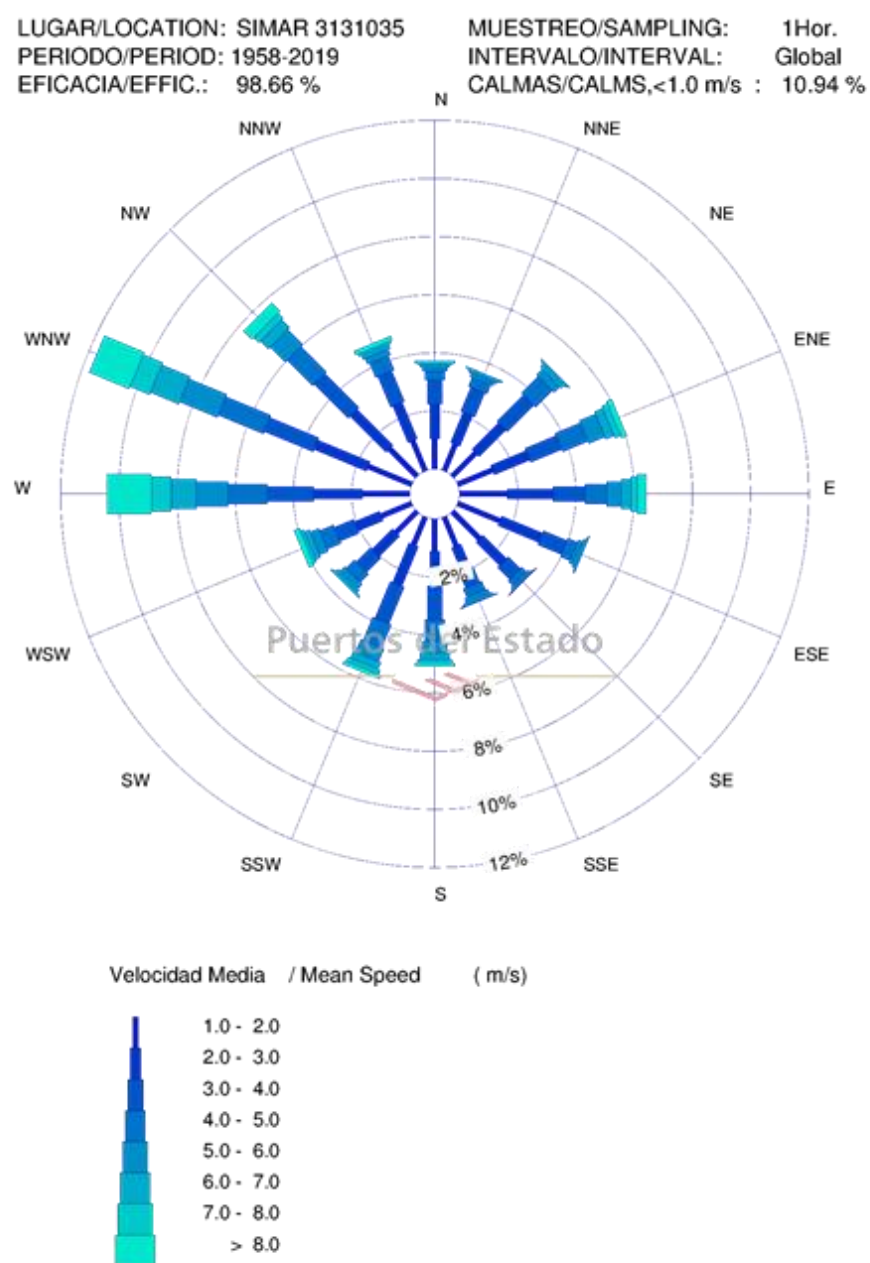


Figura 2.10 Rosa de los vientos en punto SIMAR 3131035



Figura 2.10.1 Primavera

Figura 2.10.2 Verano

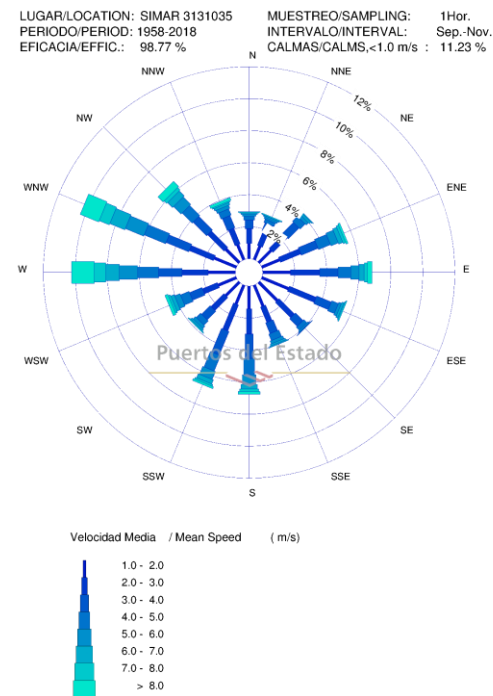


Figura 2.10.3 Otoño

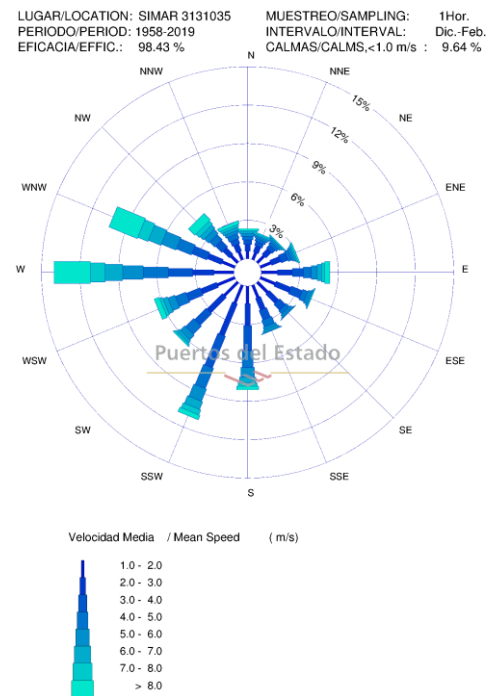


Figura 2.10.4 Invierno

En la Figura 2.11, se representa el histograma del viento con las velocidades y frecuencias detectadas en el Punto SIMAR 3131035 a profundidades indefinidas.

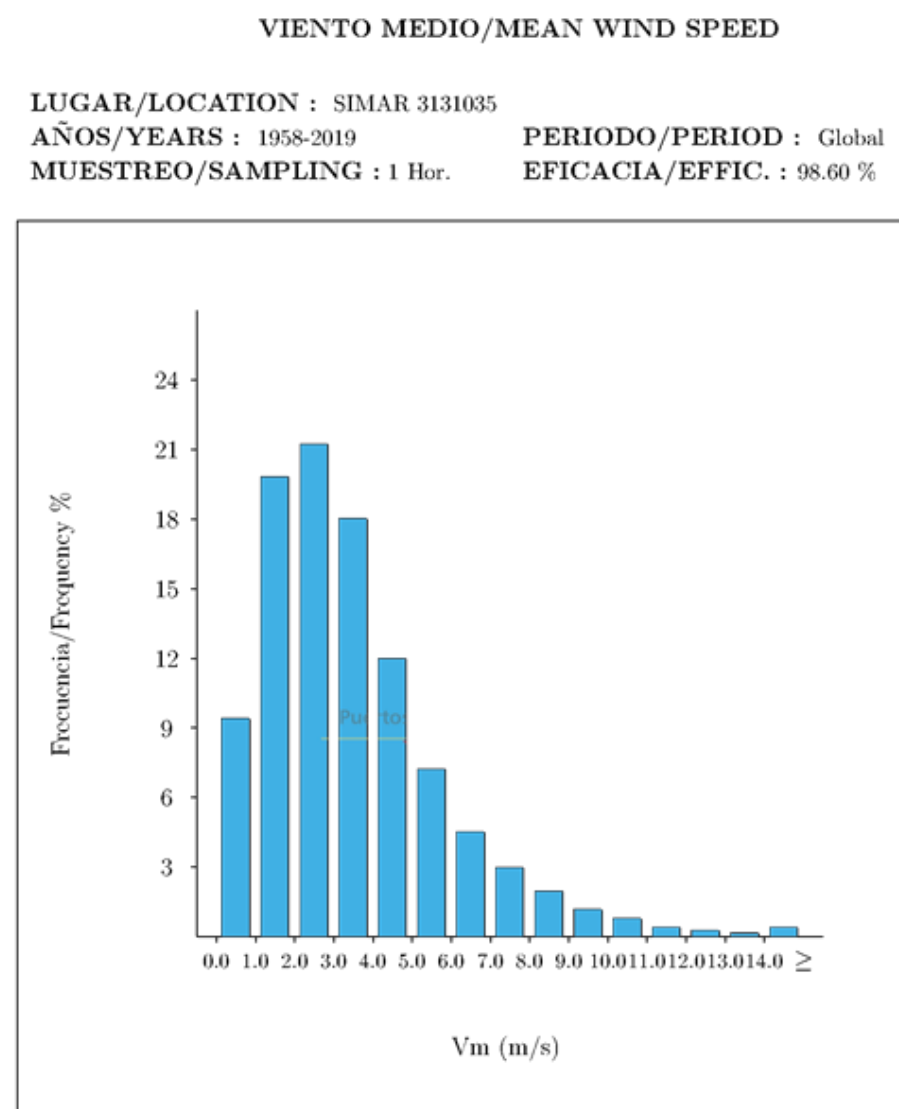


Figura 2.11 Velocidades / Frecuencia de vientos en Punto SIMAR 3131035

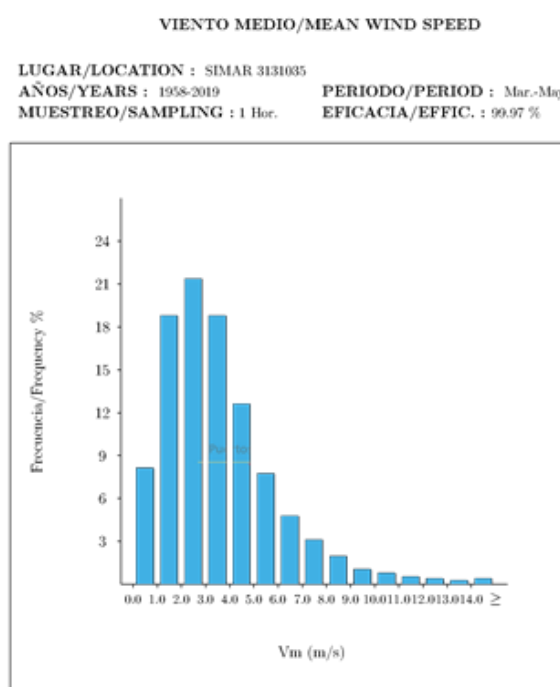


Figura 2.11.1 Primavera

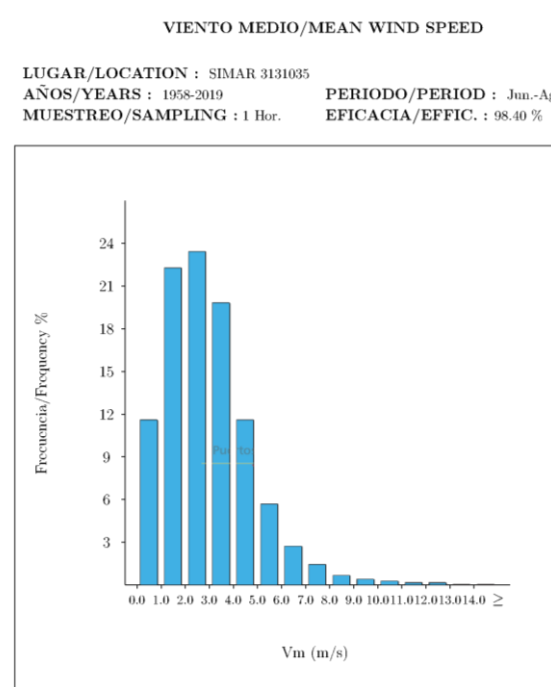


Figura 2.11.2 Verano

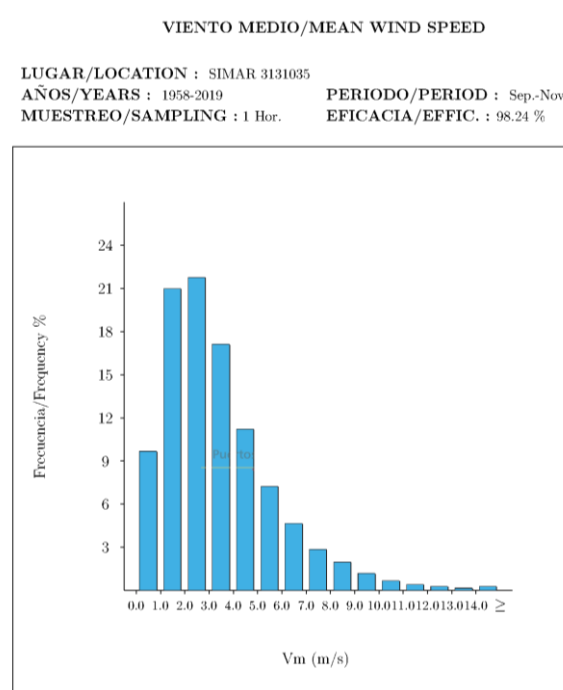


Figura 2.11.3 Otoño

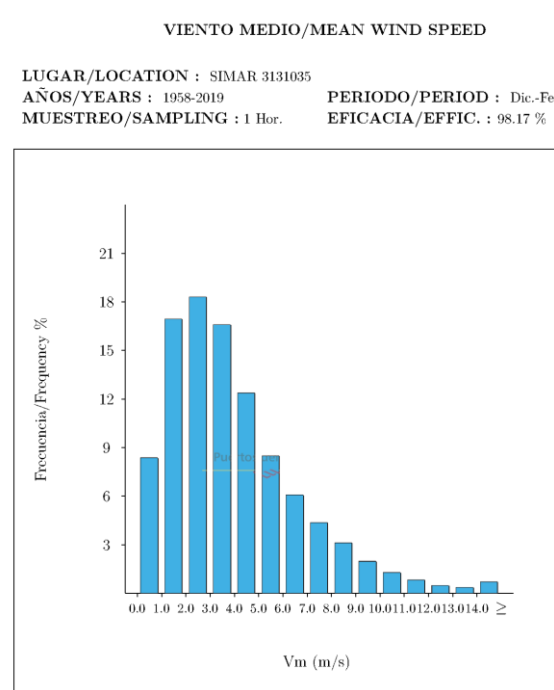


Figura 2.11.4 Invierno

4 ESTUDIO DEL NIVEL DEL MAR

El estudio del nivel del mar y sus variaciones es imprescindible para el diseño y cálculo de las obras marítimas, principalmente en lo que se refiere al diseño de diques y los cálculos para determinar la cota de coronación.

Dicho estudio es también de trascendental importancia, para el estudio de playas y zonas inundables intermareales dado que, el nivel del mar afecta al comportamiento de la propagación del oleaje, generación de las corrientes y en el transporte de los sedimentos.

Entre los factores que afectan a los cambios del nivel del mar es imprescindible tener presente:

- La marea astronómica.
- La marea meteorológica.
- La sobreelevación por rotura y agrupación del oleaje.



4.1 ORIGEN DE DATOS

Los datos utilizados para este estudio se han obtenido del “Informe Anual de 2017 Red de Mareógrafos de Puertos del Estado (REDMAR)”, y de los registrados por el mareógrafo de Santander referidos a la base NGU-84, perteneciente a la red de mareógrafos REDMAR de Puertos del Estado.

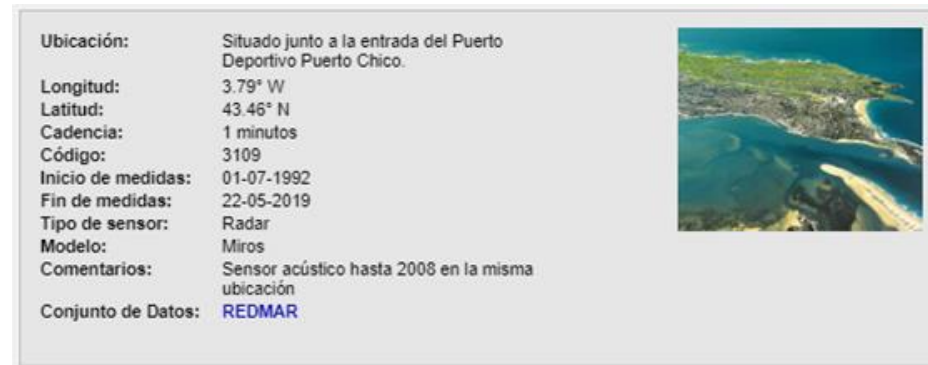


Figura 2.12 Situación y características mareógrafo de Santander REDMAR

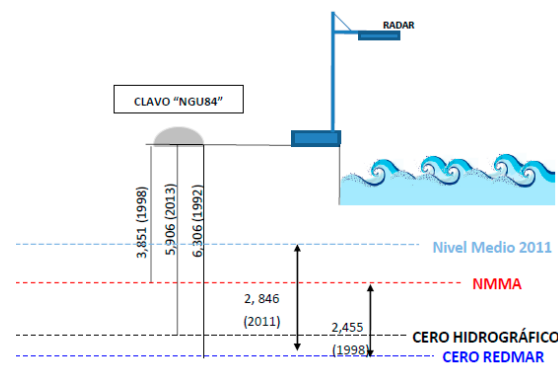


Figura 2.13 Esquema del Datum del mareógrafo de Santander REDMAR

En la Figura 2.13 se muestran las principales referencias del nivel del mar calculadas sobre todo el periodo de datos disponibles en el mareógrafo de Santander obtenido del “Informe Anual de 2017 Red de Mareógrafos de Puertos del Estado (REDMAR)”

El dato de referencia del cero del puerto de Suances se ha obtenido de la información facilitada por Puertos Autónomos del Gobierno de Cantabria a través de su página web. En la que se indica las alturas aproximadas a las que los ceros de los diferentes puertos se hallan por debajo del nivel medio del mar en Alicante.

Concretamente el cero del Puerto de Suances se encuentra a 1.90 metros por debajo del nivel medio del mar en Alicante.

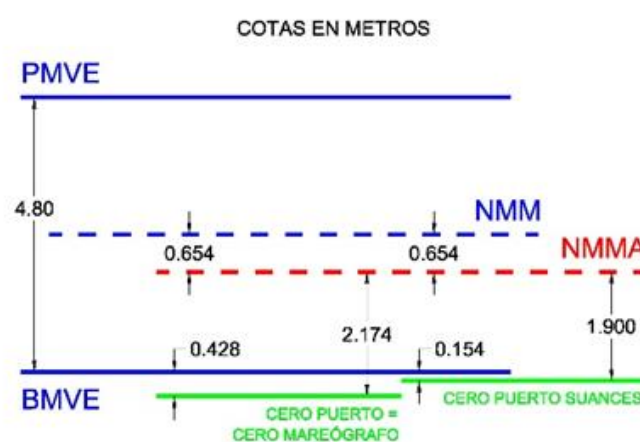


Figura 2.14 Niveles de referencia

En la Figura 2.14 se representa la relación existente entre el Nivel del Mar en Alicante y los niveles de referencia con el Mareógrafo de Santander y el Puerto de Suances.

Para obtener los niveles de marea en el Puerto de Suances, teniendo en cuenta la diferencia del cero de ambos Puertos respecto al NMMA, extrapolamos los niveles de marea del Puerto de Santander al Puerto de Suances.

En la tabla de la Figura 2.15 se expresan los niveles de referencia del Mareógrafo de Santander y el Puerto de Suances, respecto al Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA).



NIVEL	COTAS CERO DEL PUERTO DE SANTANDER	COTAS CERO DEL PUERTO DE SUANCES
PMVE	+5.228	+4.954
NMM	+2.828	+2.554
NMMA	+2.174	+1.900
BMVE	+0.428	+0.154

Figura 2.15 Cotas de los diferentes niveles del mar en Santander y el Puerto de Suances respecto a sus correspondientes CP.

En el caso concreto de nuestro proyecto presuponemos que el régimen de mareas en el Puerto de Suances sea similar al régimen de mareas en el mareógrafo de Santander, por lo que hemos asumido para nuestros cálculos los valores obtenidos en el mareógrafo de Santander.

4.2 RÉGIMEN MEDIO DEL MAR

El nivel del mar total respecto al cero del puerto resulta principalmente de la suma del nivel del mar debido a la marea astronómica y el de la marea meteorológica.

En la gráfica de la Figura 2.16 se representa la función de distribución del nivel del mar total respecto al cero del puerto en el mareógrafo de Santander.

A su vez en la gráfica de la Figura 2.17 se encuentra representada la función de distribución de las pleamares observadas.

Esta distribución de las pleamares nos aporta los valores límite para el diseño de nuestro dique, dado que los resultados son los más adversos para nuestro diseño.

Percentiles de la serie de nivel horario observado
(% niveles horarios por debajo de un nivel dado)

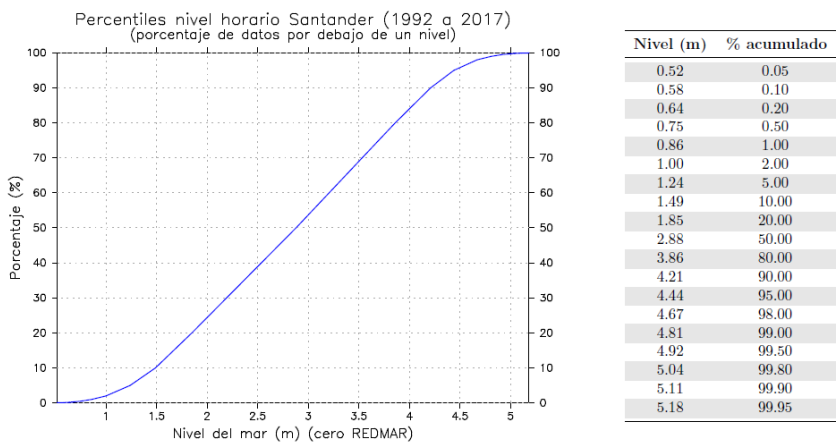


Figura 2.16 Función de distribución del nivel total del mar.

Percentiles de la serie de pleamares observadas
(% pleamares por debajo de un nivel dado)

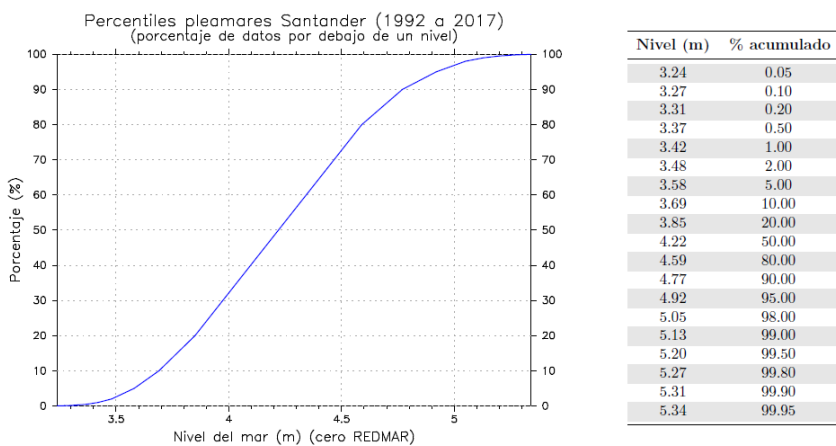


Figura 2.17 Función de distribución del nivel de pleamares.



4.2.1 MAREA ASTRONÓMICA

Está producida principalmente por las fuerzas de atracción gravitatorias que ejercen la Luna y el Sol sobre los mares y océanos. Estas fuerzas provocan en cualquier punto de los océanos, variaciones en el nivel del mar y que dependerá del lugar donde se encuentre este y de las posiciones relativas de la luna y el sol en ese momento.

Cuando un determinado punto de la tierra se encuentra en fase con la luna, se produce la pleamar, pero cuando la luna y dicho punto de la tierra no están en fase tenemos bajamar.

Si además el sol se encuentra en fase con la luna y la tierra se produce una amplificación de la marea, dando lugar a la marea viva, sin embargo, cuando están en contrafase las fuerzas de atracción son menores y se denomina marea muerta.

La marea astronómica es un componente fundamental para determinar el nivel medio del mar.

El nivel del mar total se separa mediante un análisis armónico de las componentes de marea, en marea astronómica y marea meteorológica. Para definirla será preciso obtener la amplitud y fase de sus componentes principales.

Este análisis armónico se basa en el conocimiento de que la marea observada está compuesta por un número de componentes armónicas, cuyos periodos han sido perfectamente establecidos. Conocidas las variaciones del nivel del mar durante un periodo de tiempo determinado, se obtienen las amplitudes y las fases de las distintas componentes de la marea astronómica.

En la Figura 2.18 se muestra tabla generada por Puertos del Estado de las componentes armónicas de la marea en Santander calculados para el periodo de 1993 a 2015.

ARMÓNICOS DE MAREA CALCULADOS SOBRE EL PERIODO 1993 - 2015			
Armónico	Frecuencia (ciclos/hora)	Amplitud (cm)	Fase (°)
Z0	0.000000	285.74	0.00
2Q1	0.035706	0.42	230.97
SIG1	0.035909	0.41	241.95
Q1	0.037219	2.20	276.25
RHO1	0.037421	0.40	285.26
O1	0.038731	6.97	323.79
P1	0.041553	2.01	58.83
S1	0.041667	0.63	212.72
K1	0.041781	6.47	71.28
OQ2	0.075975	0.44	34.08
EPS2	0.076177	1.02	39.59
2N2	0.077487	3.96	57.00
MU2	0.077689	4.48	61.17
N2	0.078999	27.69	75.67
NU2	0.079202	5.26	76.96
M2	0.080511	131.71	94.84
LDA2	0.081821	0.98	88.97
L2	0.082024	3.24	104.08
T2	0.083219	2.64	121.79
S2	0.083333	45.69	127.93
K2	0.083561	12.88	125.50
ETA2	0.085074	0.66	148.72
M3	0.120767	1.30	331.57
SK3	0.125114	0.41	36.89
MN4	0.159511	1.23	283.30
M4	0.161023	2.38	329.09
MS4	0.163845	0.73	43.85
MK4	0.164073	0.20	45.11
2SK5	0.208447	0.04	309.82

Figura 2.18 Componentes armónicas de la marea en Santander (NGU-84)



En la tabla anterior se han remarcado las componentes de mayor amplitud y con frecuencias comprendidas entre 27° y $30^\circ/h$ se corresponden con las componentes semidiurnas M2, S2, N2, K2, entre ellas la de mayor amplitud es la componente M2.

La marea está formada básicamente por esta componente M2, con una amplitud de 131,71cm. y un periodo de 12 horas 25 minutos, lo que equivale a una carrera de mareas de 2,634 metros.

El resto de componentes con distintas frecuencias, corresponden a componentes diurnas o de largo periodo.

En la Figura 2.19 se representa la curva de la variación del régimen medio de la marea astronómica respecto al cero del puerto de Santander, una vez restado el residuo meteorológico de la marea total.

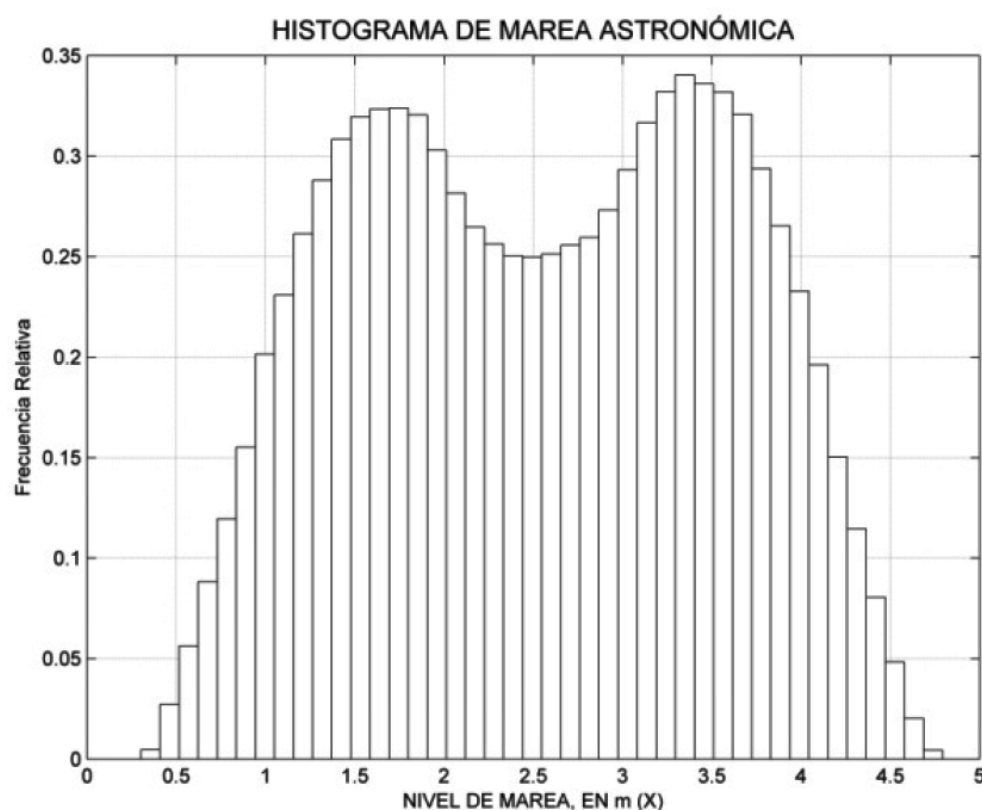


Figura 2.19 Función de densidad de la marea astronómica.

Se observa en la gráfica anterior que el nivel del mar a media marea es menos probable, siendo más probable en momentos de pleamar (3.40 m.) y bajamar (1.70 m.).

En la Figura 2.20 se representa la curva de distribución del régimen medio de la marea astronómica respecto al cero del puerto de Santander.

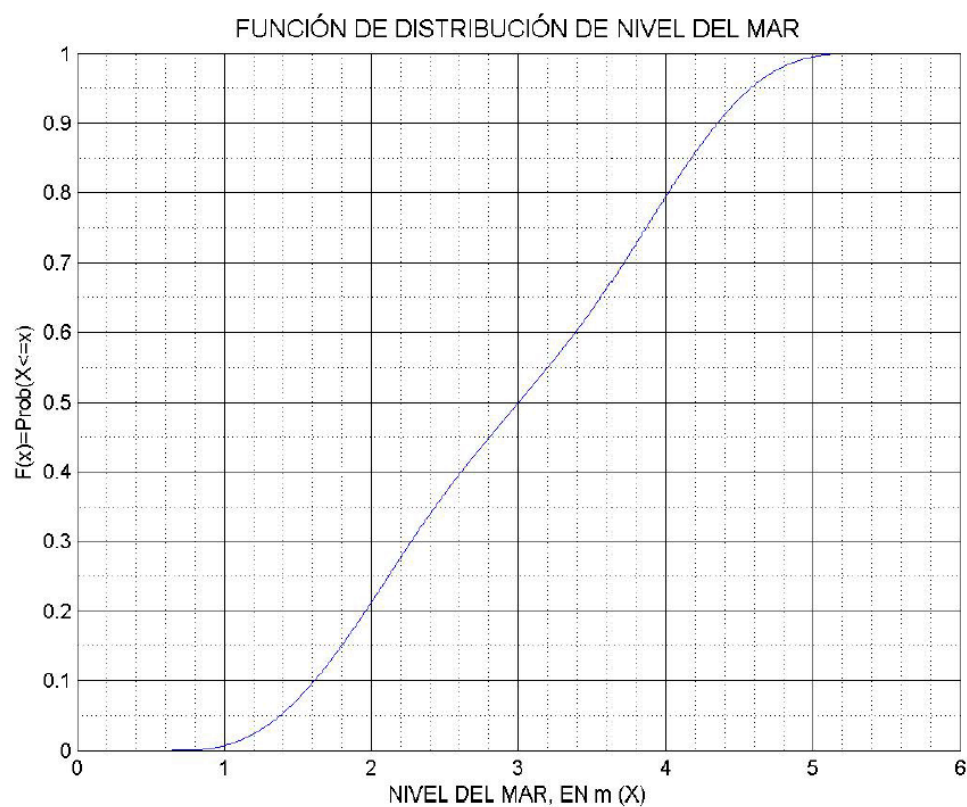


Figura 2.20 Función de distribución del nivel de marea astronómica.



Según la función de distribución representada en la gráfica Figura 2.20, el límite superior de la marea astronómica en Santander es de 5,20 m, siendo el valor del cuantil 95% de 4,5 metros.

4.2.2 MAREA METEOROLÓGICA

La marea meteorológica son las variaciones que experimenta el nivel del mar, causadas por las inclemencias meteorológicas, variaciones de presión atmosférica, el arrastre del viento y otras perturbaciones aleatorias a nivel del mar.

Tras realizar el análisis armónico del nivel medio del mar total, podremos obtener el residuo meteorológico.

En la gráfica de la Figura 2.21 muestra la función de distribución correspondiente al régimen medio de la marea meteorológica para las observaciones hechas en el mareógrafo de Santander en el periodo 1992 a 2019.

Como podemos apreciar ambas representaciones el residuo meteorológico tiene carácter aleatorio y su régimen medio sigue una distribución normal.

Percentiles de la serie de residuo meteorológico

(% residuo por debajo de un nivel dado)

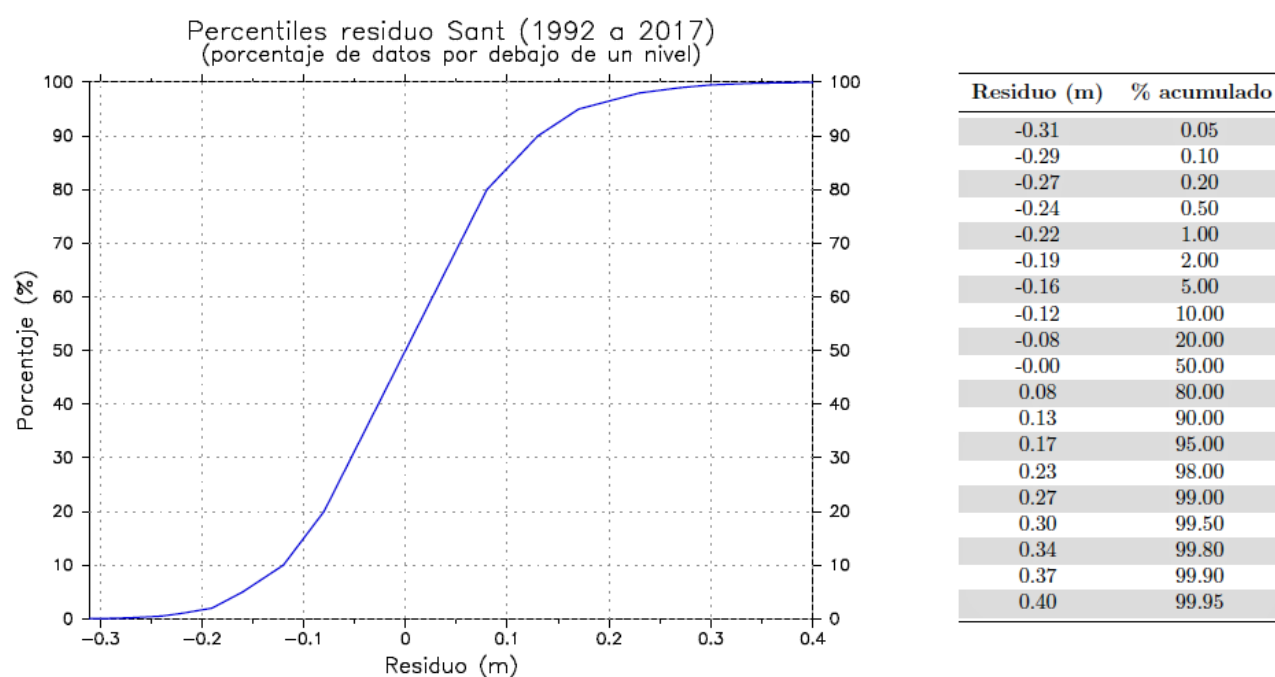


Figura 2.21 Función de distribución de la marea meteorológica.

Los valores máximos y mínimos que presenta la marea meteorológica son +0,49m. y -0,36m., respectivamente, siendo el valor del cuantil 95 % de +0,17metros.

En la gráfica de la Figura 2.22 muestra la función de densidad correspondiente al régimen medio de la marea meteorológica.

Como podemos observar en la representación gráfica de la función de densidad, el nivel de marea meteorológica más probable corresponde a una depresión de -0.015 metros.



RESIDUO METEOROLOGICO/MET. RESIDUAL

LUGAR/LOCATION : Mareografo de Santander 2 AÑOS/YEARS : 1992-2019
MUESTREO/SAMPLING : 1 Hor. EFICACIA/EFFIC. : 95.72 %

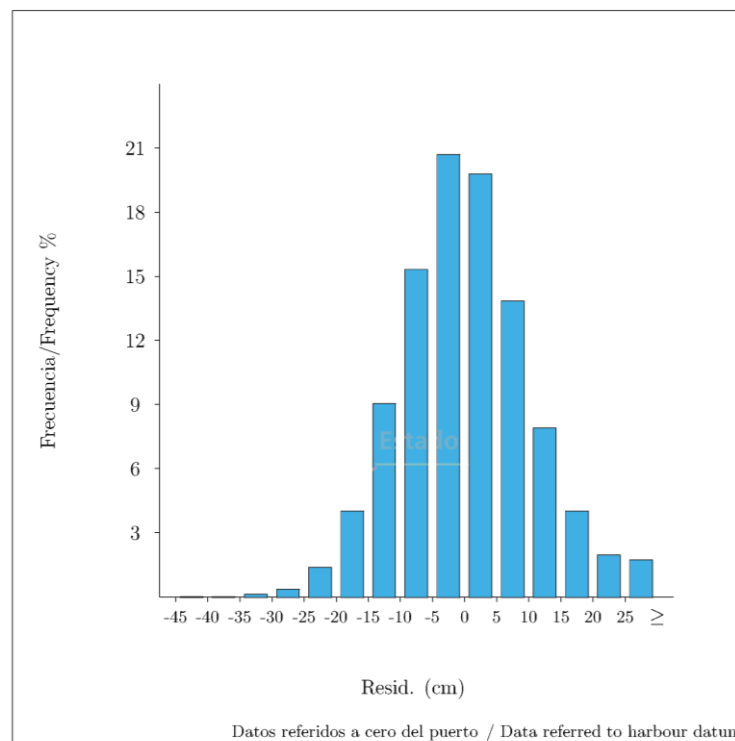


Figura 2.22 Función densidad de la marea meteorológica.

4.2.3 SOBRELLEVACIÓN POR ROTURA DEL OLEAJE

La rotura del oleaje, también conocida como Set-Up, se debe a las corrientes que se producen en dirección a la costa en la zona de rompientes, ya que empujan a la masa de agua en dicho sentido.

La evaluación se efectúa mediante la fórmula siguiente:

$$\frac{d\eta_r}{dx} = k \cdot \frac{dh}{dx}$$

cuya solución fue dada por Longuet-Higgins y Stewart en 1964:

$$\eta = k(h_b - h) + \eta_b$$

siendo:

η_b la variación del nivel del mar en el punto de rotura y

h_b la profundidad en el punto de rotura.

En nuestro caso, adoptando un oleaje de periodo $T= 16$ segundos y una altura de 5.0 metros con una batimetría lineal, se obtiene una sobre elevación de 0.5 m.

4.3 MÁXIMO NIVEL DEL MAR

Si consideramos todos los factores analizados anteriormente en su valor más desfavorable, el valor de la cota de inundación se obtendrá de la suma de los siguientes valores:

- Marea astronómica
- Marea meteorológica
- Rotura del oleaje



4.4 MÍNIMO NIVEL DEL MAR

El nivel mínimo del mar se produce sin oleaje incidente, con el mar en calma, de forma que no se producen sobreelevaciones de la lámina de agua por rotura del oleaje, ni por agrupación del mismo.

La marea astronómica se considerará en su nivel más bajo, con la probabilidad de ocurrencia fijada por la operatividad mínima, y a este nivel se le añadirá el máximo descenso del nivel medio producido por marea meteorológica.

Por lo tanto, el mínimo nivel del mar se obtendrá como resultado de la suma de:

- Marea astronómica
- Marea meteorológica

5 ESTUDIO DEL OLAJE

En el presente apartado analizamos con detalle las distintas funciones de distribución del oleaje, tanto extremal como el medio, en profundidades indefinidas y en las inmediaciones de Suances.

Primero se presentan los regímenes de oleaje en profundidades indefinidas. Y a continuación los regímenes de oleaje propagados a las inmediaciones de la zona de estudio.

A lo largo del apartado se incluye una descripción detallada del procedimiento utilizado para la construcción de los regímenes, así como de los modelos numéricos empleados en la propagación del oleaje.

5.1 FUENTE DE DATOS

Para el estudio del oleaje se ha contado con un archivo DOW (Downscaling Ocean Waves) proporcionado por el IH de Cantabria en el que aparecen reflejados los valores de 592.416 estados del mar registrados en el periodo comprendido desde febrero de 1948 hasta agosto de 2015.

Los datos registrados fueron tomados en un punto situado en las coordenadas de Longitud 4.05° Oeste y Latitud 43.55° Norte, donde encontramos una profundidad de 177 m (profundidades indefinidas).

En este archivo aparecen registrados todos los estados de mar y para cada uno de ello se especifican los valores de fecha a la que fue registrado, altura de ola significativa (hs), periodo medio (tm), periodo de pico (tp), dirección del flujo (dir) y la altura de marea respecto al nivel medio del mar.

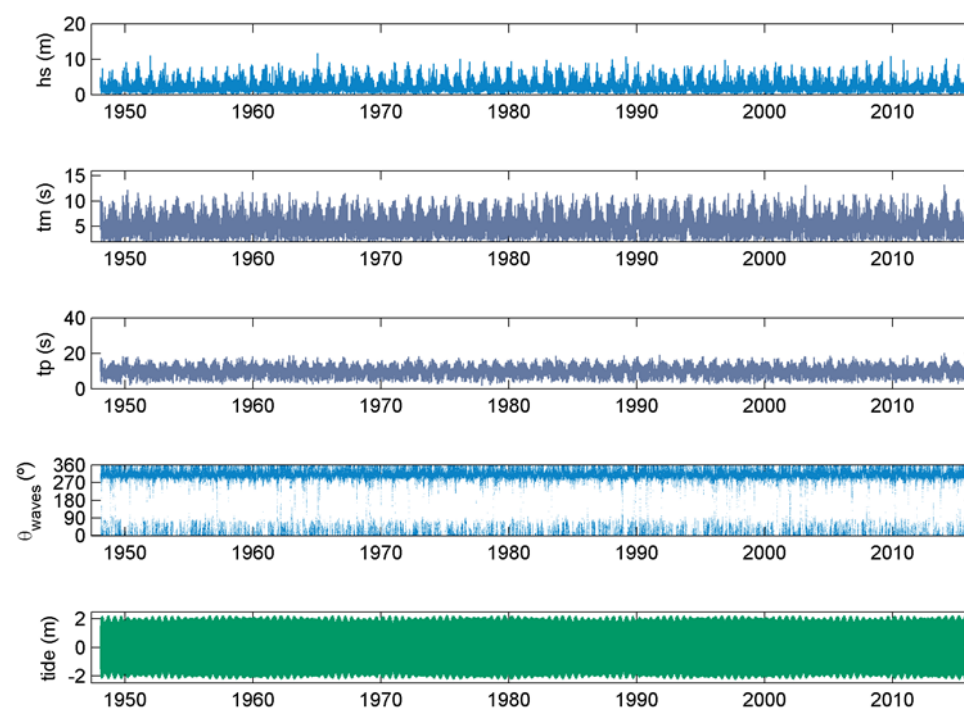


Figura 2.23 Gráfico resumen del contenido del archivo DOW



5.2 OLEAJE EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

Realizar la propagación de los 592.416 estados de mar registrados durante los 67 años resulta inviable computacionalmente, por lo que aplicamos el método de “downscaling híbrido” en el cual seleccionaremos un número representativo de toda la muestra de estados de mar tomados en el punto de profundidades indefinidas (punto A). Posteriormente propagaremos dichos estados de mar hasta un segundo punto en las inmediaciones del proyecto (punto B).

Esta selección la realizaremos mediante el algoritmo de máxima disimilitud.

En el caso de Suances, el oleaje tiene una variación direccional bastante acotada, como se puede apreciar en el gráfico de la Figura 2.23, por lo que el número de estados de mar representativo que necesitamos que nuestro algoritmo nos seleccione, se resume a 250. Mientras que, en el caso de un amplio rango de direcciones, sería necesario tomar al menos 500 estados en la muestra.

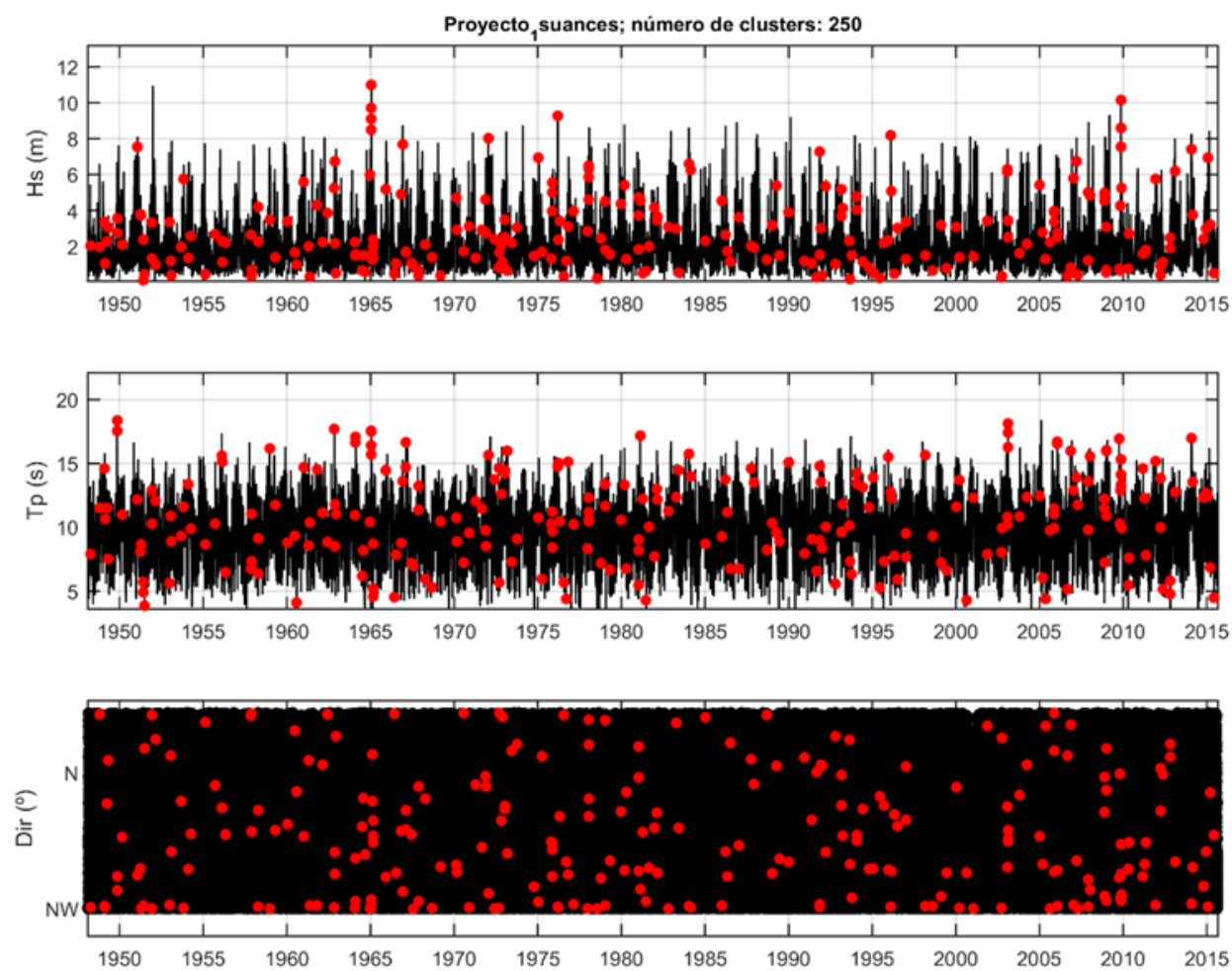


Figura 2.24 Visualización de los valores de Hs, Tp y Dir seleccionados con respecto a toda la estadística de oleaje en el punto A.

Una vez obtenida la muestra representativa del oleaje en el punto A de profundidades indefinidas, necesitaremos propagar las olas a un punto B cercano a la zona del proyecto (en nuestro caso se ha tomado un punto a la entrada entre los dos acantilados que protegen la desembocadura de la Ría de San Martín de la Arena).

Para esta propagación se emplea el modelo SWAN, que tiene en cuenta los procesos de refracción, asomeramiento y rotura por fondo.



Figura 2.25 Localización del Punto B

La propagación a nuestro punto B nos arroja los siguientes resultados:

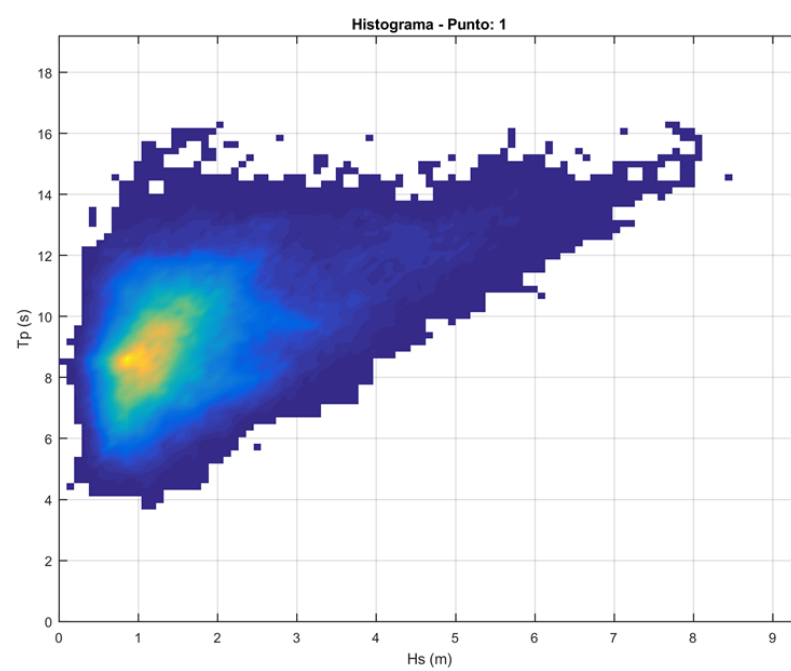


Figura 2.26 Histograma Hs vs. Tp en el punto B

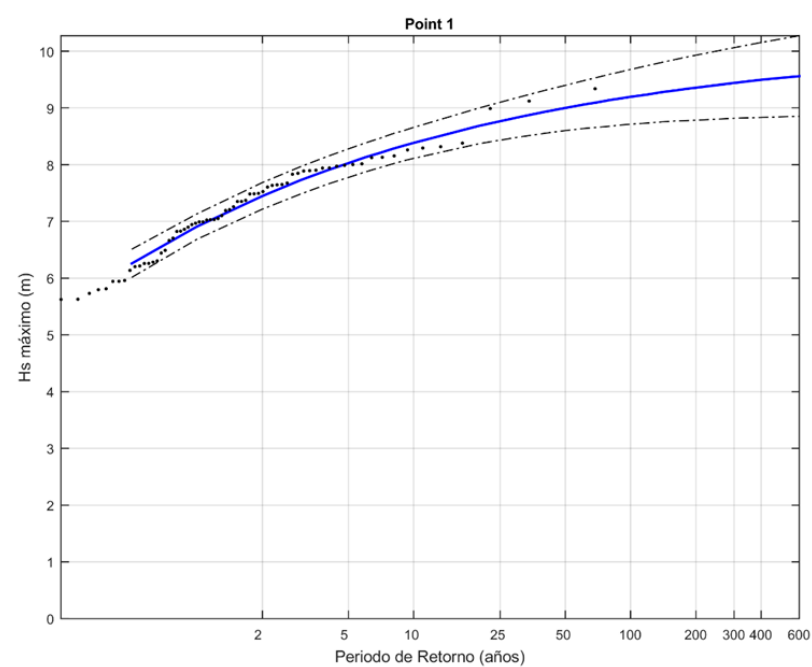


Figura 2.27 Régimen extremal en el punto B.

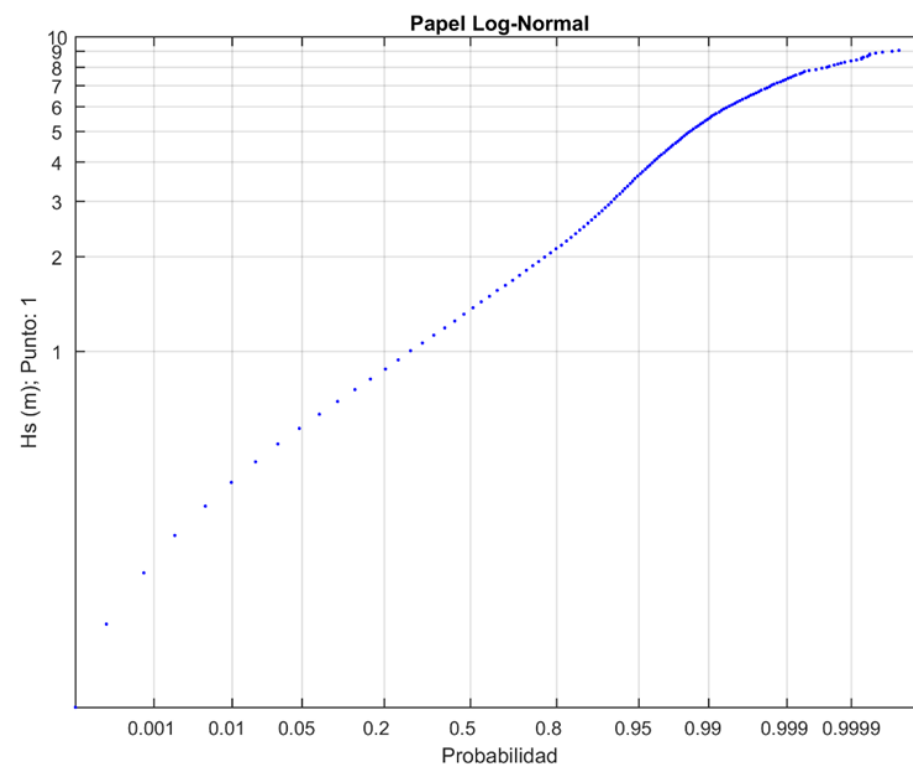


Figura 2.28 Régimen Medio en el punto B.

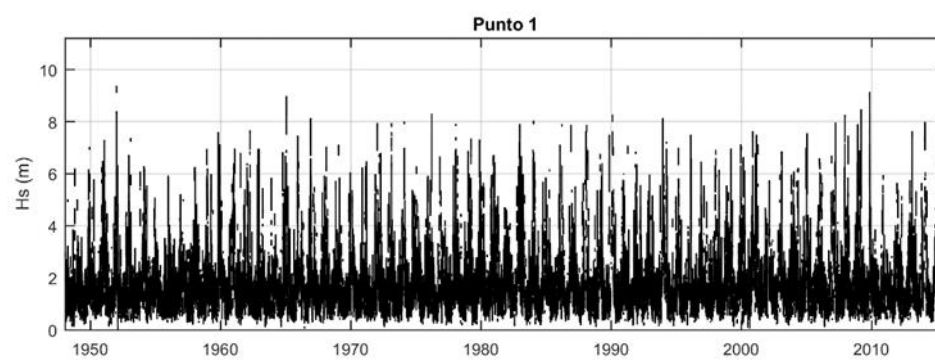


Figura 2.29 Altura de ola significativa en el punto B

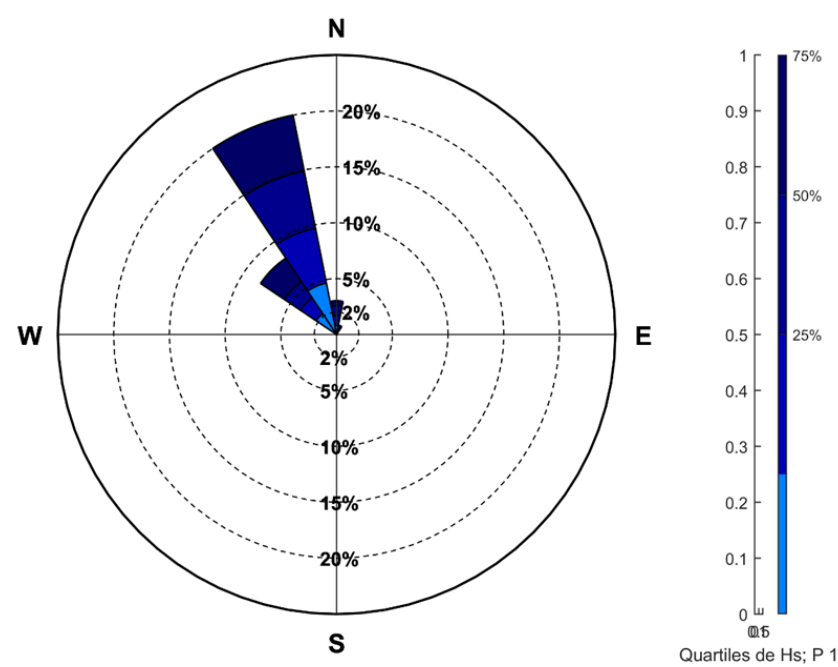


Figura 2.30 Rosa de oleaje en el punto B



TABLA ESTADÍSTICOS BASICOS

Variable medida:Hs; P 1

direcciones(°)	prob.direccion	Hs; P 1 _{50%}	Hs; P 1 _{90%}	Hs; P 1 _{99%}	Hs; P 1 ₁₂
N	0.0302	1.3037	2.1584	3.3565	4.5978
NNE	0.0085	1.1168	1.9945	2.8433	3.4611
NE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ENE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
E	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
ESE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSE	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
S	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WSW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
W	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
WNW	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NW	0.0821	1.4394	3.7881	6.6371	7.9150
NNW	0.2001	1.4163	2.7634	4.7078	6.1518

Figura 2.31 Tabla estadísticos básicos en el punto B

5.3 OLEAJE EN LAS INMEDIACIONES DE SUANCES

Dado que lo que nosotros necesitamos determinar es el oleaje que llega hasta el espigón que queremos diseñar, tenemos que definir para esta segunda fase de la propagación, los puntos en los que nos interesa obtener los valores de altura de ola con la ayuda de los modelos.

Como primer paso necesitamos repetir el proceso de downscaling híbrido pero esta vez partiendo de los estados de mar propagados al punto B. Debemos analizar la rosa de oleaje obtenida en el punto B (figura 2.30) para cerciorarnos de que nuestro oleaje tiene un rango acotado de direcciones de ola y establecer así, 100 como el número de estados de mar representativos de los que tenemos en la propagación de B ya que , al igual que en el punto A, sería inviable computacionalmente realizar la propagación con todos los registros.

Realizamos el proceso de selección de nuevo con el algoritmo de máxima disimilitud. Del cual obtenemos un archivo con los 100 casos.

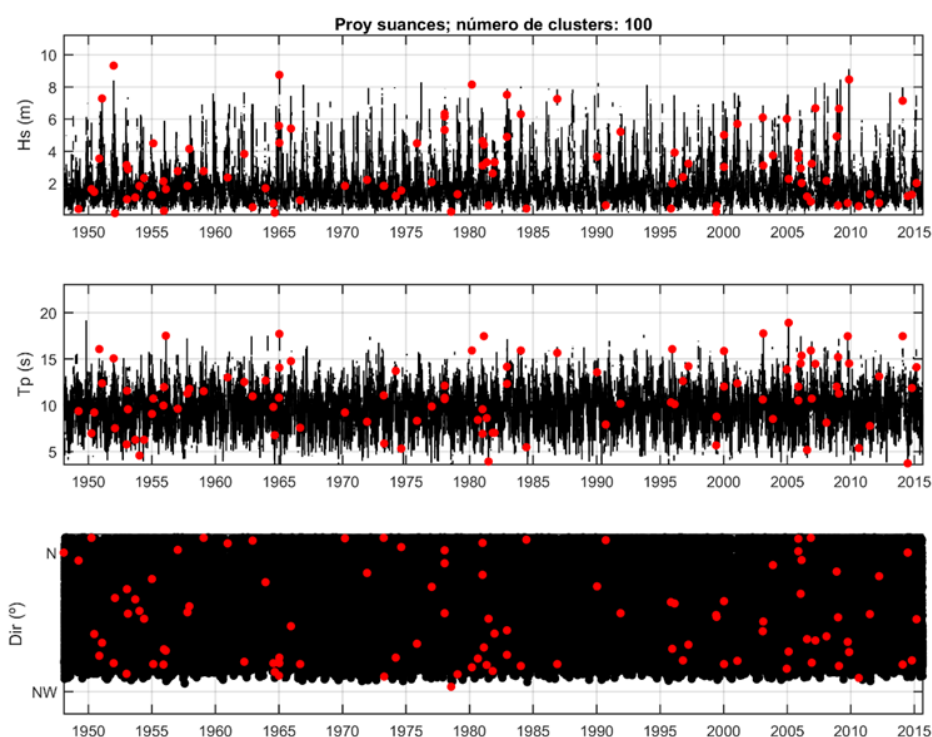


Figura 2.32 100 puntos representativos para propagar por el área del espigón.

La siguiente parte de esta segunda propagación, en lugar de emplear el modelo SWAN como en el caso anterior, se utiliza otro modelo numérico denominado MSP, el cual al igual que el SWAN, tiene en cuenta los procesos de refracción, asomeramiento y rotura por fondo, pero además contempla la difracción y la reflexión total o parcial del oleaje.



En este modelo necesitamos aportar una batimetría de la zona, un contorno del área de nuestro proyecto, ya que sobre los límites del contorno se determinan los coeficientes de reflexión de cada parte dependiendo de a qué se corresponda (si se trata de un dique vertical, su reflexión será alta y el coeficiente será 0.9, mientras que en el caso de una playa, la reflexión es bastante menor y tiene un coeficiente de 0.1) para así determinar los puntos en los que estamos interesados en extraer la información del oleaje.

En nuestro caso, se han realizado dos propagaciones para la alternativa finalmente adoptada.

Una primera con la situación actual (sin dique) con el objeto de registrar el régimen previo a la ejecución de la obra y así conocer las alturas de ola que incidirán sobre el espigón durante su construcción y otra, una vez esté el dique construido para así poder ajustar el diseño de los mantos y determinar la altura de coronación acorde a los resultados observados.

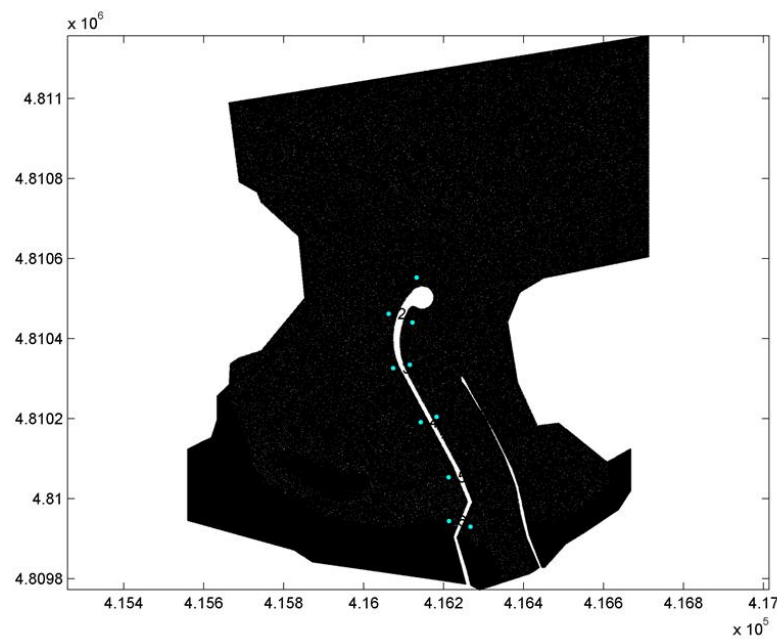


Figura 2.33 Puntos de la propagación del SMC con espigón

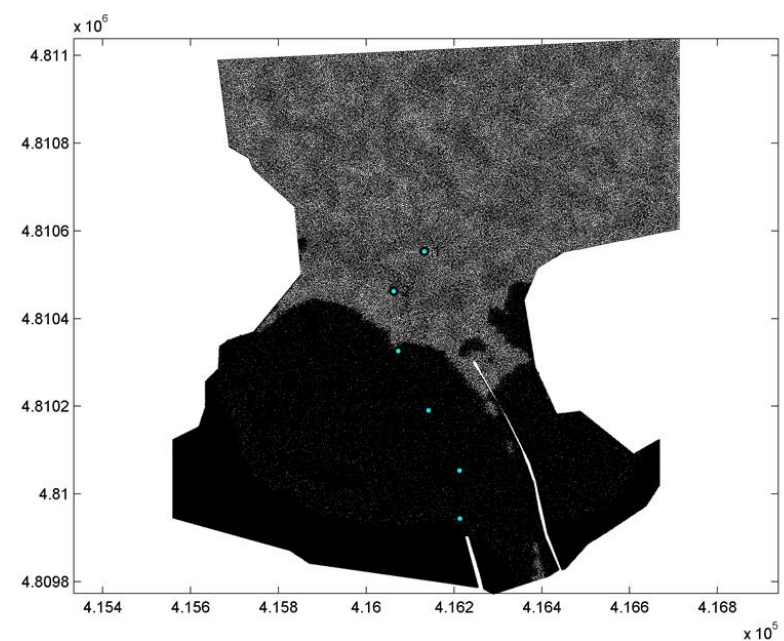


Figura 2.34 Puntos de la propagación del SMC sin espigón

Tras la propagación con el modelo MSP, obtenemos nuevamente gráficos y tablas ilustrativas de las alturas de ola, direcciones, periodos y regímenes medio y extremal para cada uno de los puntos de interés, así como un archivo con todas las propagaciones a cada uno de estos 10 puntos.

5.4 AUTORÍA

Tanto la base de datos del archivo DOW, como los programas y modelos numéricos utilizados, han sido proporcionados por el IH de Cantabria.



CAPÍTULO 3
DESCRIPCIÓN DEL ESPIGÓN

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. REQUERIMIENTOS DEL CANAL	2
3. DISEÑO DEL DIQUE	4



1 INTRODUCCIÓN

Los cambios en la playa analizados en este estudio están causados por un espigón que se planea construir en la margen izquierda del canal de navegación de la Ría de San Martín de la Arena. Este espigón tenía como funciones proteger el canal, así como estabilizar la playa de la Concha.

Las características de dicho proyecto se encuentran detalladas en el trabajo de fin de grado presentado en la convocatoria de junio denominado “Proyecto constructivo de la ampliación del espigón oeste de la Ría de San Martín de la Arena en Suances, Cantabria” y del que se expone un breve resumen en este capítulo:

2 REQUERIMIENTOS DEL CANAL

En lo referido a los requerimientos funcionales, según la ROM (Recomendaciones para las Obras Marítimas), un canal abierto a embarcaciones deportivas y pesqueros no ha de permanecer inoperativo más de 20 horas al año, lo cual implica una operatividad del 99.7%.

TABLA 8.2. TIEMPOS MEDIOS ACEPTABLES DE CIERRE DE UN AREA POR PRESENTARSE CONDICIONES CLIMATICAS ADVERSAS (SUPERIORES A LAS ESTABLECIDAS COMO LIMITES DE OPERACION PARA LOS BUQUES DE PROYECTO)

CARACTERISTICAS DEL AREA	Tiempos de inoperatividad en horas, por todos los conceptos ^{(1) (2)}
A. Areas de buques en tránsito (accesos, vías de navegación, canales, bocanas, áreas de maniobras, etc.)	
1. Puertos de interés general	
— Areas abiertas a todo tipo de barcos	200 h. año 20 h. mes
— Areas abiertas a Embarcaciones pesqueras y deportivas (3)	20 h. año 4 h. mes
2. Puertos de refugio	
— Areas abiertas a todo tipo de barcos	300 h. año 30 h. mes
— Areas abiertas a Embarcaciones pesqueras y deportivas (3)	20 h. año 4 h. mes

Figura 3.1 Inoperatividad aceptable según la ROM.

Entre las embarcaciones que utilizan el canal se encuentran:

Un buque comercial que accede por el canal una vez en largos periodos de tiempo, pero por sus grandes dimensiones deberemos tenerlo en cuenta en ciertos momentos del diseño. Este barco no se tendrá en cuenta para el diseño de la anchura del canal ya que accederá remolcado, ni para el cálculo del calado ya que limitaremos su acceso a situaciones de pleamar.

Alrededor de 75 embarcaciones deportivas hacen uso del canal, pero debido a sus reducidas dimensiones no las empleamos para el diseño del canal.

Es el caso de los pesqueros el más condicionante ya que queremos garantizar su paso en momentos incluso de bajamar. Este será nuestro barco de diseño.

Hemos querido diseñar la anchura del canal con dos vías de navegación de tal forma que permita el cruce de dos pesqueros. Acorde con los resguardos necesarios recogidos en la ROM, la anchura mínima necesaria, es de 62 metros, nuestro canal cuenta con 70 metros de anchura.

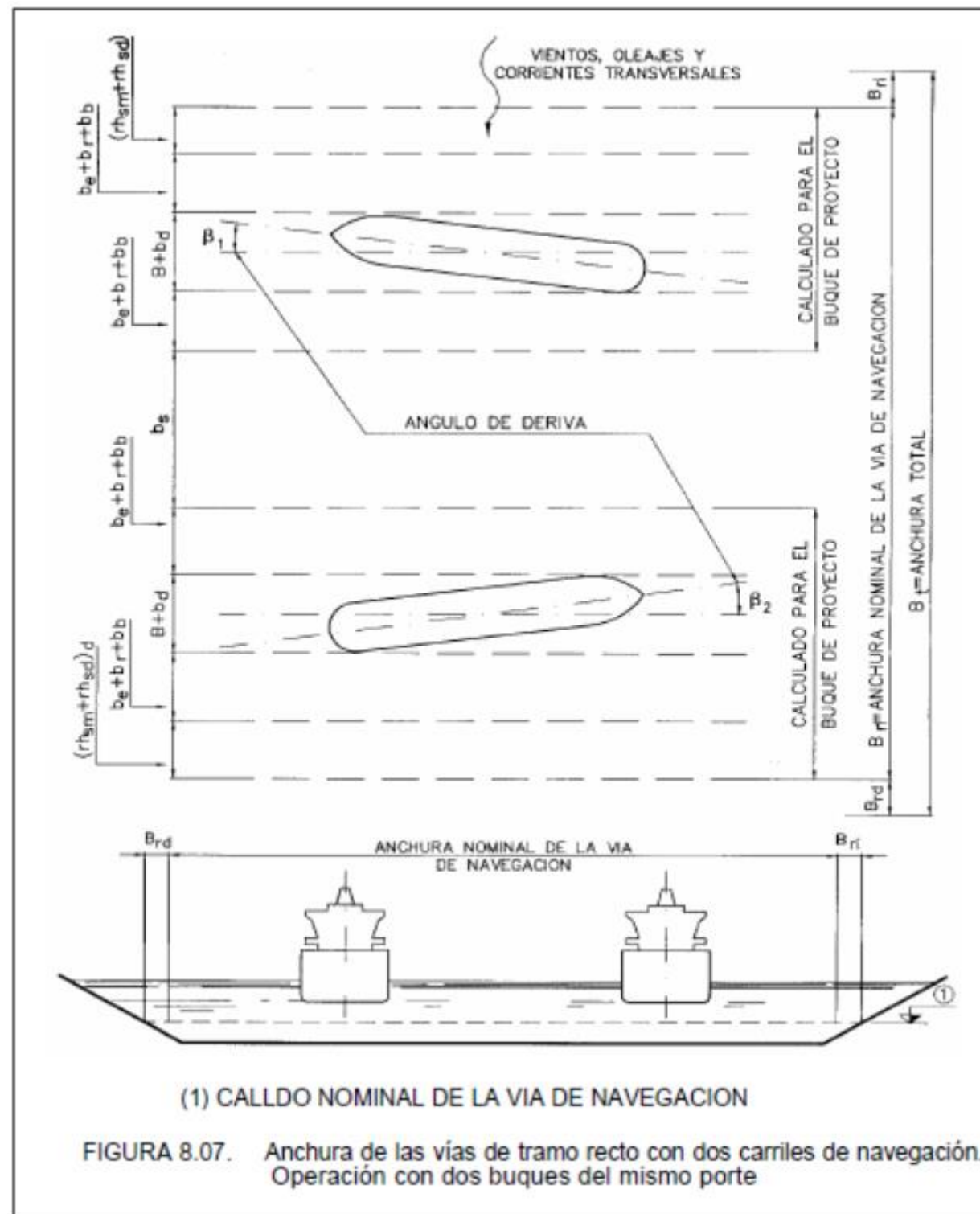


Figura 3.2. Esquema de los resguardos en planta para dos vías de navegación acorde con la ROM.

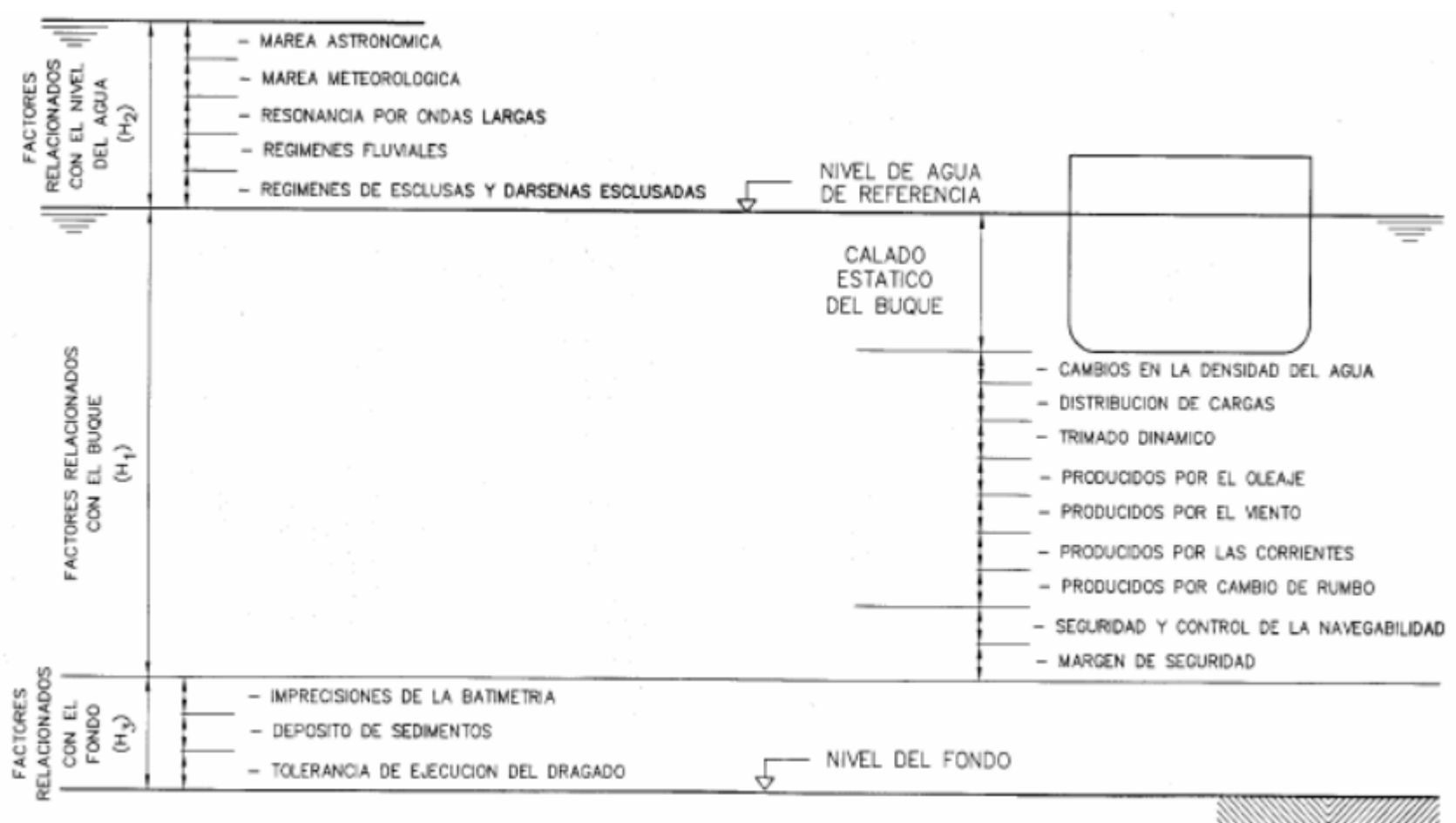


Figura 3.3. Esquema resguardos en alzado según la ROM.



Para el cálculo de la profundidad, todos los resguardos eran fijos exceptuando uno que dependía de la altura de ola y el nivel del mar en cada momento, el cual se ha calculado empleando la base de estados de mar propagada para resultar lo más precisos posible. En el caso del calado hemos procurado ajustarnos al máximo a lo necesario ya que el volumen de material a dragar es importante. Para una operatividad del 100% necesitaríamos de 3.8 metros de calado, pero se observa que reduciendo el calado 80 cm y dragando el canal a la cota -3 m, la operatividad es del 99.7% que es la que necesitamos garantizar y de esta forma resulta más económico.

Para la bocana, la ROM recomienda que todos los barcos han de ser capaces de no quedar varados en bajamar ni en caso de giro accidental, y es en este momento en el que debemos tener en cuenta las dimensiones del buque que son 4 metros de calado y 80 metros de eslora. En el caso de la anchura de la bocana, como el punto final de nuestro espigón es fijo, la anchura ya está determinada en 180 metros. Por lo tanto, el plano de dragado nos queda de la siguiente forma: el canal como la parte paralela del espigón van dragados a la -3 m, y el área de la bocana a la -4 m. El área en rojo correspondiente con el tramo del morro va dragada a la -5 m dado que el fondo alcanza la cota -5 metros.



Figura 3.4. Plano de dragado del canal.

3 DISEÑO DEL DIQUE

Se han realizado ya múltiples diseños para este espigón sin llegar a encontrar la solución idónea. Uno de los primeros diseños fue un espigón recto que se extendía un kilómetro en dirección perpendicular a la playa con el que solo se conseguía un mayor oleaje a la bocana del canal y manteniendo la misma cantidad de arena. El diseño con el que se comenzó este proyecto tenía forma de garfio bastante similar al actual que se muestra en esta figura 3.5, pero con una mayor curvatura hacia la parte central. En estudios previos se determinó que dicho ensanchamiento producía una mayor acumulación de arena por lo que se decidió realizar el canal totalmente paralelo al espigón de la margen este del canal, y de esta forma canalizar las corrientes.



Figura 3.5. Plano en planta del espigón.

Una vez encontrado el diseño en planta se planteó la tipología de dique no rebasable lo que resultaba en una estructura que alcanzaba los 11 metros por encima del cero del puerto, lo cual es inviable teniendo en cuenta que en la zona en la que estamos trabajando, el impacto visual tiene una gran importancia. Por lo que se optó por una tipología rebasable.

En el dimensionamiento del dique se ha realizado acorde a una vida útil de 25 años y una probabilidad de fallo de 0.1, lo que implica un periodo de retorno de 238 años. Una vez calculado el periodo de retorno, utilizando los gráficos de régimen extremal de las propagaciones realizadas, y tomando como curva la correspondiente a una confianza del 95%, obtenemos la altura significativa de cálculo para los distintos puntos del espigón.

Para el cálculo del oleaje de diseño, con la altura de cálculo para todos los puntos y una duración del temporal de 3 horas obtenido de la base de datos, podemos calcular la altura H50, que es la altura de ola solo superada por 50 estados de mar. Con la fórmula de rotura de Goda, calculamos la altura de rotura por fondo para compararla con la H50 ya que se toma la menor de ellas en cada punto y se emplea esa altura como altura de diseño.

Para aplicar la tipología de dique rebasable debemos tener en cuenta 2 situaciones: la de la viabilidad durante la construcción para el acceso de máquinas, y la operatividad en el interior del canal una vez construido.

En el caso de la construcción, calculamos el run-up del 2% por la fórmula de Losada y Giménez-Curto, añadiéndole un coeficiente para tener en cuenta el ángulo de incidencia obtenido del EurOtop dado que, exceptuando en el tramo del morro, el oleaje es prácticamente paralelo y el run-up sustancialmente menor. Este cálculo nos proporciona las alturas expuestas en la tabla, exceptuando en el caso del tramo 4, más cercano a la playa el cual podría tener una altura sustancialmente menor, pero la arena en el lado de la playa se encontraría a escasos 50 centímetros de la coronación y ante cualquier temporal pasaría por encima por lo que hemos decidido mantener la misma cota que para los siguientes tramos. Al comprobar la operatividad en el interior del canal para las alturas obtenidas anteriormente encontramos que no hay ningún tramo en el cual la operatividad se vea afectada por lo que la altura de coronación limitante es la necesaria para la viabilidad en la construcción de la obra.



	Run-up 2% no superado por el 99% de los estados de mar (sobre el cero del puerto)
Tramo 1 (morro)	6.9 m
Tramo 2	6.4 m
Tramo 3	6.4 m
Tramo 4	6.4 m

Acorde con los puntos a los que hemos propagado el oleaje y a la profundidad del suelo, hemos determinado 4 tramos para los cuales calcularemos las diferentes piezas necesarias.

Aunque se intentó emplear los cubos de hormigón como piezas para el manto del dique, las grandes alturas resultantes en este primer diseño obligaron a emplear una pieza más especial que en este caso es el cubípodo.

Para el cálculo de los cubípodos se ha empleado la calculadora de cubípodos proporcionada por la empresa fabricante, lo que nos aporta los tamaños de las piezas para dique no rebasable y posteriormente se han aplicado las modificaciones del profesor César Vidal para diques rebasables. Dichas modificaciones están pensadas para el empleo de piezas de escollera por lo que hemos calculado la relación entre tamaño de escollera en dique rebasable y no rebasable, a la relación entre cubípodos. En caso de que la escollera necesaria no superase las 6 toneladas, nos decantaremos por el empleo de escollera. Tras estos cálculos, obtenemos la siguiente tabla de piezas necesarias.

	Manto Principal	Manto Secundario
TRAMO 1 (morro)	Cubípodos 10T monocapa	Escollera bicapa (400kg – 1500kg)
TRAMO 2	Cubípodos 6T monocapa	Escollera bicapa (400kg – 1500kg)
TRAMO 3	Escollera bicapa (5000kg - 7000kg)	Escollera bicapa (400kg – 1500kg)
TRAMO 4	Escollera bicapa (1500kg – 4000kg)	Escollera bicapa (100kg - 400kg)

En esta tabla observamos que el morro necesita cubípodos de tan solo 10 toneladas lo cual significa que el espesor de la capa es de tan solo un metro y medio lo cual resulta mucho más favorable en cuanto a la reducción al mínimo del impacto visual.

Pasamos a mostrar la solución final, este es un perfil longitudinal en el que se muestran los 710 metros de longitud del dique.

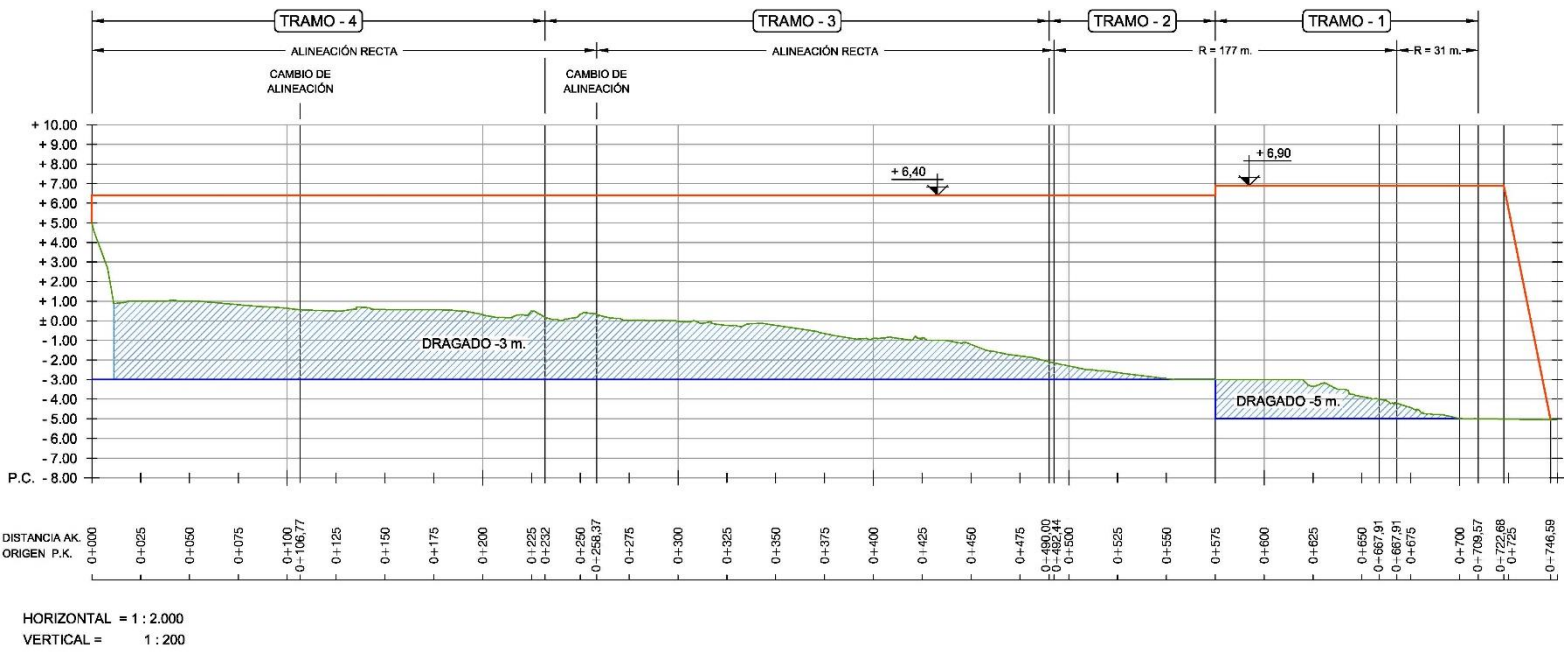


Figura 3.6. Perfil Longitudinal.



Como podemos ver, los tres tramos más cercanos a la playa van dragados a la cota -3 m mientras que en el caso del morro, debido a que la parte final se encuentra a la -5 m, debemos dragarlo a mayor profundidad como veíamos indicado anteriormente en el plano de dragado. En la coronación del dique se ha incluido también una losa de 5 m de ancho con una rotonda al morro para el acceso de maquinaria en caso de ser necesaria algún tipo de reparación.

Estas son las secciones de los tramos 1 y 2 que como se ha indicado anteriormente, tienen el manto principal formado por cubípodos.

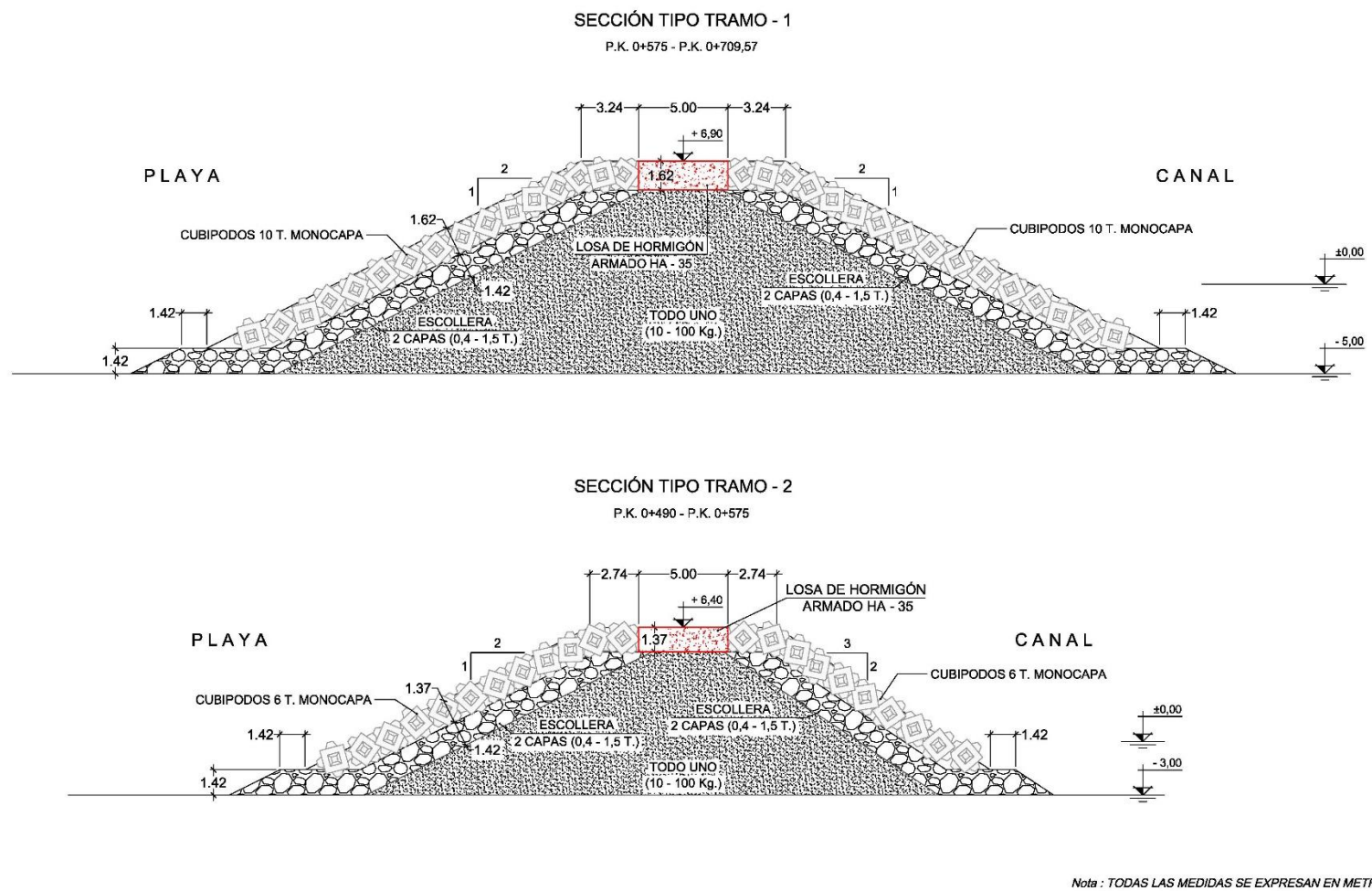


Figura 3.7. Secciones de los tramos 1 y 2

Estas son las secciones correspondientes a los tramos 3 y 4, más cercanos a la playa y formados en su totalidad por escollera.

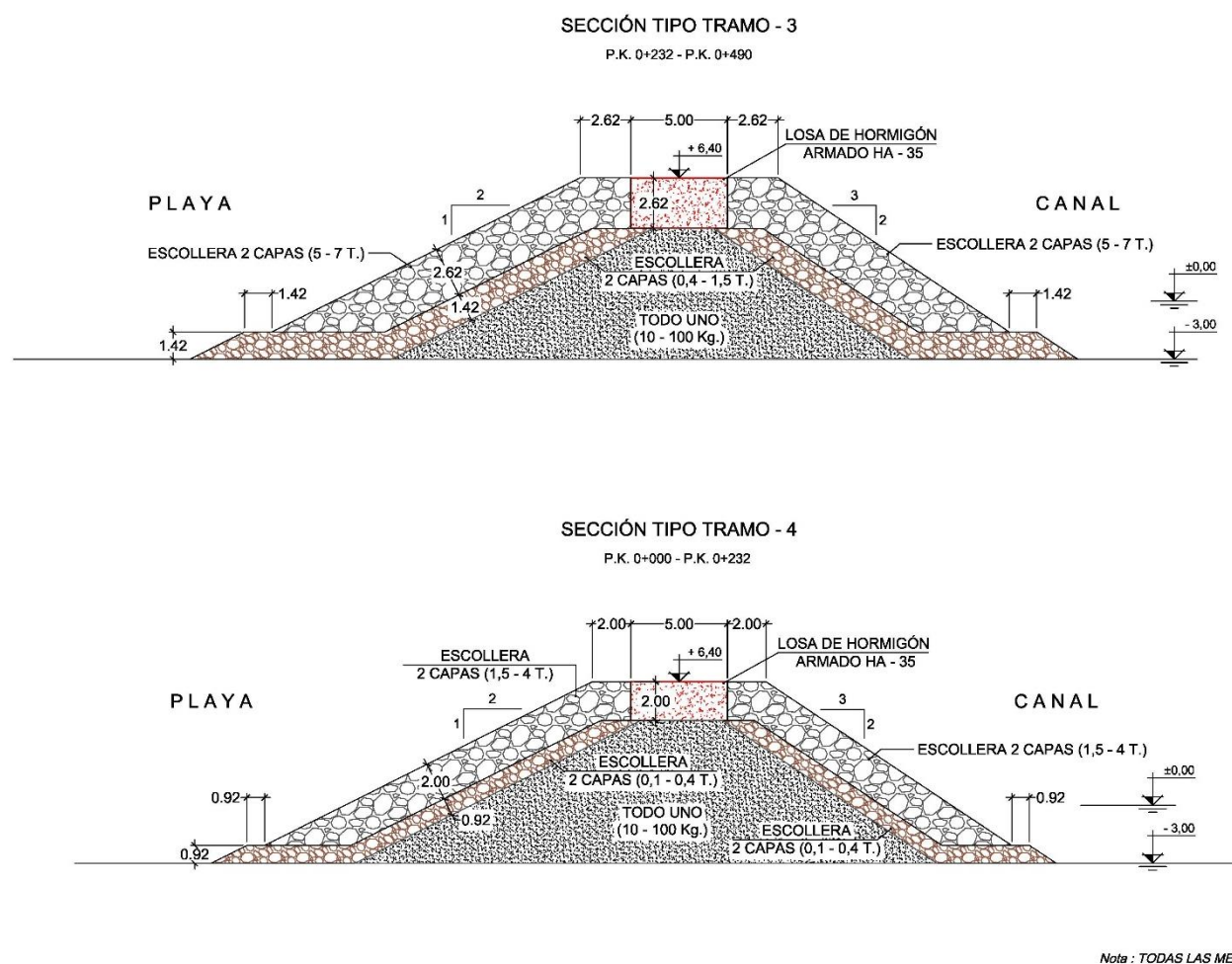


Figura 3.8. Secciones de los tramos 3 y 4



CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DEL AVANCE DE LA PLAYA DE LA CONCHA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. LA PLAYA DE EQUILIBRIO	3
2.1. PLANTA DE EQUILIBRIO	3
2.1.1. TEORÍA	3
2.1.2. APLICACIÓN A LA PLAYA DE LA CONCHA	7
2.2. PERFIL DE EQUILIBRIO	13
2.2.1. TEORÍA	13
2.2.1.1. PERFIL DE ROTURA	16
2.2.1.2. PERFIL DE ASOMERAMIENTO	16
2.2.2. APLICACIÓN A LA PLAYA DE LA CONCHA	16
2.2.2.1. PERFIL DE ROTURA	18
2.2.2.2. PERFIL DE ASOMERAMIENTO	20
2.2.2.3. PERFIL DE EQUILIBRIO	21
3. CÁLCULO DE LA PLAYA DE EQUILIBRIO	22
4. RESULTADOS	29
4.1. PLANTA DE EQUILIBRIO	29
4.2. PERFILES DE EQUILIBRIO	30
4.3. BALANCE DE VOLÚMENES	34



1 INTRODUCCIÓN

En la ensenada de Suances hay un equilibrio dinámico, esto quiere decir que en el interior de dicha ensenada hay un volumen de arena constante que está en continuo movimiento. Este transporte cíclico pasa por tres puntos principalmente que son la desembocadura del canal, la playa de la Concha y la parte central de la ensenada por donde se mueve la barra de arena.



Figura 4.1 Zona de transporte de la barra móvil

Con la construcción del espigón, la playa de la Concha pasa a estar fuera de la influencia de la desembocadura de la ría de San Martín de la Arena. Con este nuevo escenario, todos los sedimentos situados en el lado izquierdo del nuevo espigón se reorganizan y se sitúan en la playa generando una nueva forma en planta y un nuevo perfil transversal tal y como explicaremos a lo largo de este capítulo.



Figura 4.2 Diseño final del espigón

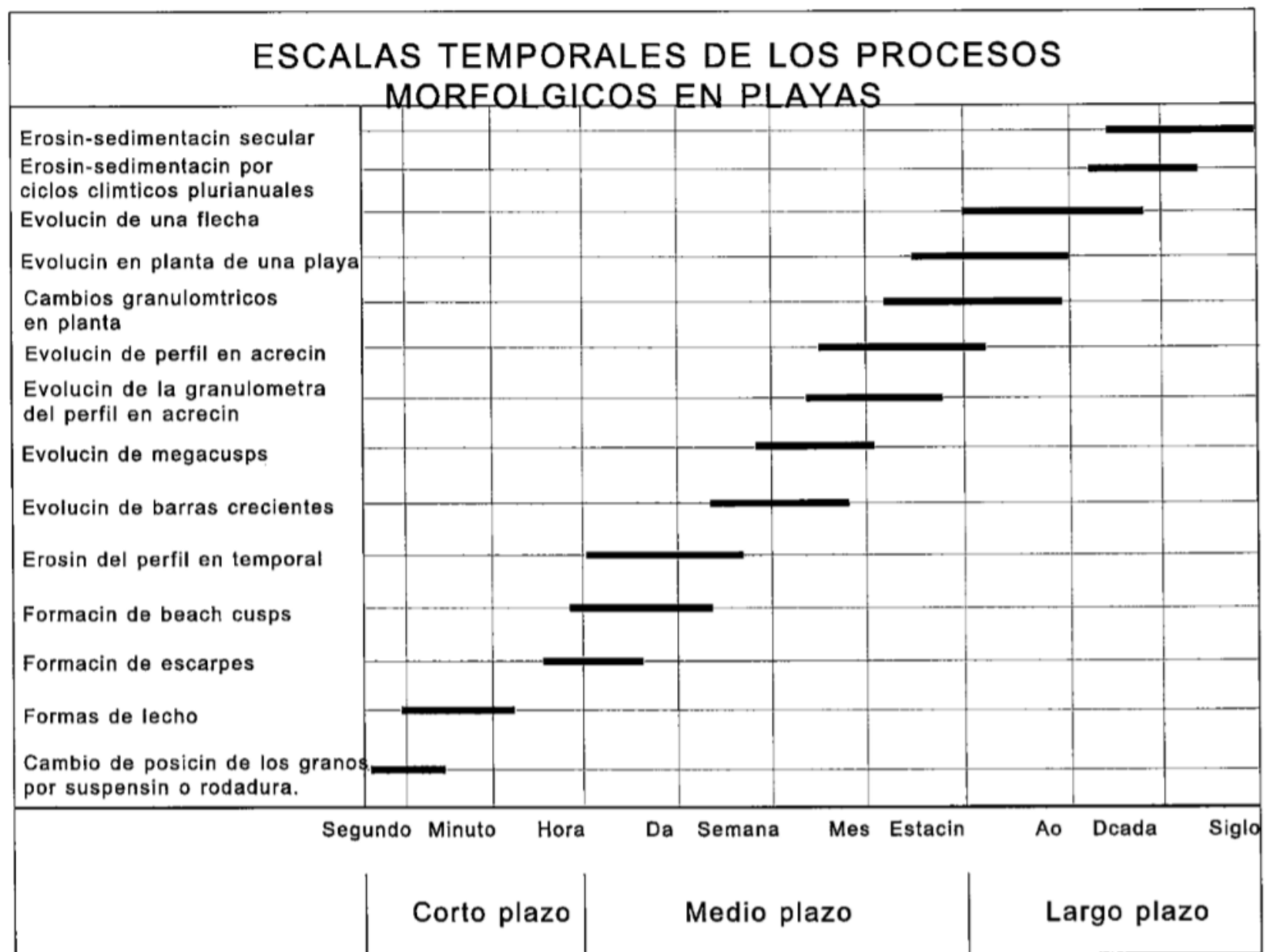


Figura 4.3 Escalas temporales de los procesos morfológicos

En este caso estamos estudiando un proceso a largo plazo dado que en la anterior escala temporal figura 4.3 observamos como la evolución en planta de una playa es un cambio que tarda entre tres meses y un año.

2 LA PLAYA DE EQUILIBRIO

El concepto de playa de equilibrio, acorde con la definición dada en el artículo de R. Medina et al. en 2001, se refiere a la configuración a la que tiende la forma de la playa bajo condiciones estacionarias de la dinámica actuante. Estas condiciones estacionarias no se dan en la naturaleza por lo que se refiere a una situación ideal, pero se ajusta a la realidad lo suficiente como para representarla adecuadamente.

Una playa de equilibrio está definida por dos conceptos principales que son la planta de equilibrio y el perfil de equilibrio.

2.1 PLANTA DE EQUILIBRIO

2.1.1 TEORÍA

Tras percibir una cierta similitud entre las playas encajadas o protegidas por algún tipo de saliente de tierra, los investigadores comenzaron a intentar describir la forma en planta de dichas playas a través de la ecuación de una curva que se adapte a ella.

Los primeros ensayos fueron realizados por Silvester en 1960 de los que se extrajo una primera aproximación que asemejaba la forma en planta a una espiral logarítmica. Esta formulación, pese a que fue estudiada durante varios años, no



alcanzó la consideración de solución definitiva debido a la dificultad de situar el polo de la espiral y por presentar diferencias con la realidad a medida que se aleja del punto de difracción.

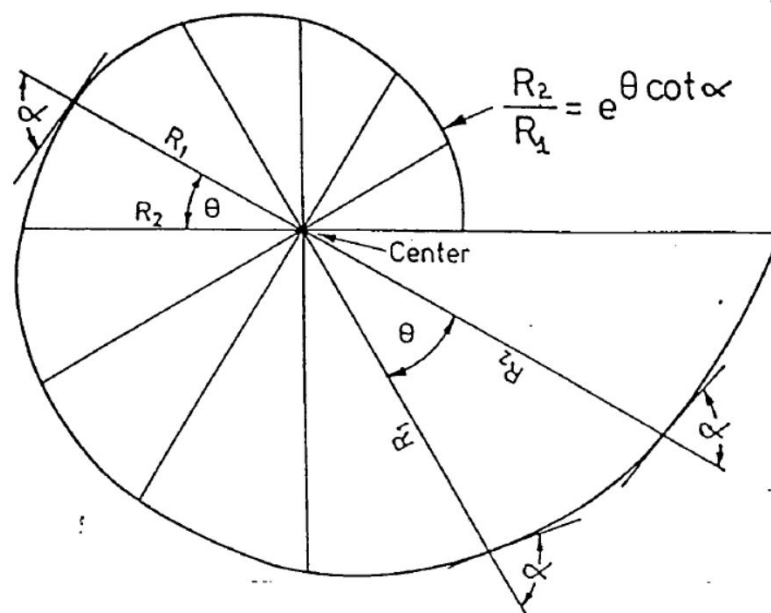


Figura 4.4 Espiral de Silvester

Analizando la planta de las playas de equilibrio encajadas los investigadores se percataron de que situando el origen de la espiral logarítmica en el punto de difracción, la parte curva de la playa quedaba fielmente descrita. Con estos datos, en 1989, Hsu y Evans propusieron una expresión parabólica con la forma siguiente:

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1 * \left(\frac{\beta}{\theta}\right) + C_2 * \left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2$$

En los que R_0 , β y θ son variables geométricas dependientes de la forma de la playa y C_0 , C_1 y C_2 son coeficientes dependientes de la dirección del frente de ola.

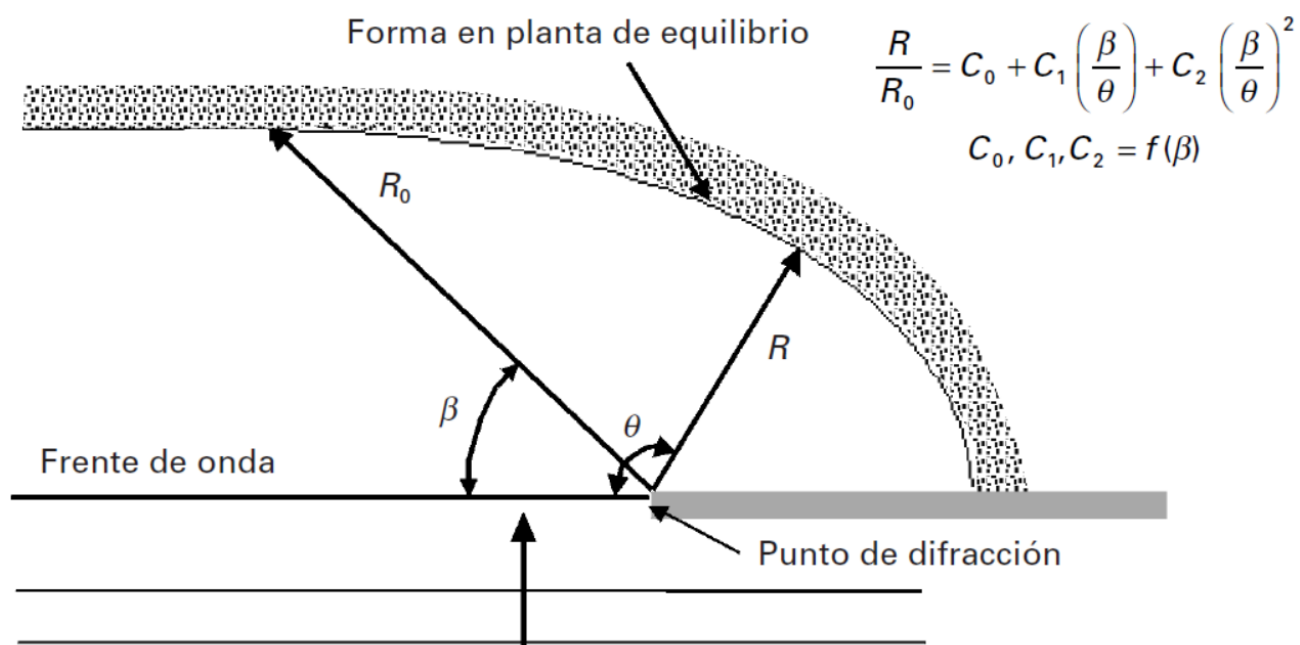


Figura 4.5 Forma en planta de Hsu y Evans



β°	Coeficientes			Valores de R/R_0 para $\theta^\circ =$							
	C_0	C_1	C_2	30	45	60	75	90	120	150	180
20	0.054	1.040	-0.094	0.705	0.497	0.39	0.324	0.280	0.225	0.191	0.168
22	0.054	1.053	-0.109	0.768	0.543	0.426	0.354	0.305	0.244	0.206	0.181
24	0.054	1.069	-0.125	0.829	0.588	0.461	0.383	0.330	0.263	0.222	0.194
26	0.052	1.088	-0.144	0.887	0.633	0.497	0.412	0.355	0.281	0.237	0.207
28	0.050	1.110	-0.164	0.944	0.677	0.532	0.442	0.379	0.300	0.251	0.219
30	0.046	1.136	-0.186	1.000	0.721	0.568	0.471	0.404	0.319	0.266	0.230
32	0.041	1.166	-0.210		0.763	0.603	0.500	0.429	0.337	0.280	0.242
34	0.034	1.199	-0.237		0.805	0.638	0.529	0.453	0.355	0.294	0.252
36	0.026	1.236	-0.265		0.845	0.672	0.558	0.478	0.373	0.307	0.262
38	0.015	1.277	-0.296		0.883	0.706	0.586	0.502	0.390	0.320	0.272
40	0.003	1.322	-0.328		0.919	0.739	0.615	0.526	0.407	0.332	0.281
42	-0.011	1.370	-0.362		0.953	0.771	0.643	0.550	0.424	0.344	0.289
44	-0.027	1.422	-0.398		0.983	0.802	0.670	0.573	0.441	0.356	0.297
46	-0.045	1.478	-0.435			0.832	0.698	0.596	0.457	0.367	0.304
48	-0.066	1.537	-0.473			0.861	0.724	0.619	0.473	0.378	0.311
50	-0.088	1.598	-0.512			0.888	0.750	0.642	0.489	0.388	0.317
52	-0.112	1.662	-0.552			0.914	0.775	0.664	0.505	0.398	0.322
54	-0.138	1.729	-0.592			0.938	0.800	0.686	0.520	0.408	0.327
56	-0.166	1.797	-0.632			0.960	0.823	0.707	0.535	0.417	0.332
58	-0.196	1.866	-0.671			0.981	0.846	0.728	0.549	0.425	0.336
60	-0.227	1.936	-0.710			1.000	0.867	0.748	0.563	0.434	0.339
62	-0.260	2.006	-0.746				0.888	0.768	0.577	0.441	0.342
64	-0.295	2.076	-0.781				0.908	0.787	0.590	0.449	0.345
66	-0.331	2.145	-0.813				0.927	0.805	0.603	0.456	0.346
68	-0.368	2.212	-0.842				0.945	0.823	0.615	0.462	0.348
70	-0.405	2.276	-0.867				0.963	0.840	0.627	0.468	0.349
72	-0.444	2.336	-0.888				0.981	0.857	0.638	0.473	0.349
74	-0.483	2.393	-0.903				1.000	0.874	0.649	0.478	0.348
76	-0.522	2.444	-0.912					0.891	0.660	0.482	0.347
78	-0.561	2.489	-0.915					0.909	0.670	0.486	0.346
80	-0.600	2.526	-0.910					0.927	0.680	0.489	0.343

Figura 4.6 Tabla para los coeficientes de la curva de Hsu y Evans.

Se han realizado modificaciones posteriores sobre esta misma expresión como la realizada por Tan y Chiew en 1994 pero se ha comprobado que la formulación propuesta por Hsu y Evans sigue siendo la que mejor se ajusta a la forma en planta real de la playa de equilibrio. Es tal el ajuste que se ha determinado que esta expresión se puede emplear incluso en playas con marea dado que describe tanto la línea de bajamar como la de pleamar.

Para que esta expresión se pudiera formular de forma predictiva, en 2001, González y Medina propusieron una metodología que consiste en una aproximación teórica empleando el modelo de forma en planta de equilibrio α_{\min} .

Se pueden diferenciar tres regiones en la línea de costa con diferentes comportamientos del oleaje debido a los efectos de difracción y refracción que sufre el oleaje tras encontrarse con la barrera que está protegiendo la playa.

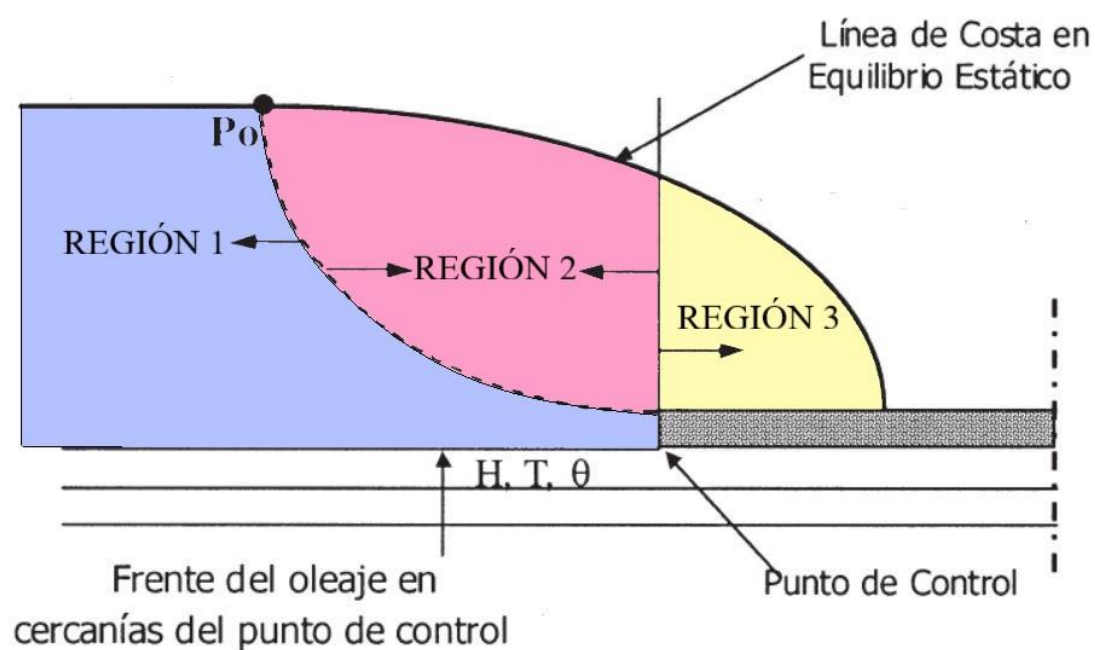
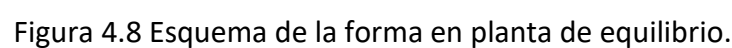


Figura 4.7 Regiones de la forma en planta.



Para la localización del punto, P_0 , González y Medina propusieron la utilización de dos parámetros: α_{\min} y Y/L . Tal y como se muestra en la figura 4.8, α_{\min} es el ángulo complementario de β y Y/L es la distancia del punto P_0 al punto de control, medida en perpendicular al tramo recto de la línea de costa, adimensionalizada con la longitud de onda.



El primer paso de la metodología seguida para encontrar dicha relación fue tomar en cada playa la altura de ola y periodo medio en aguas profundas y propagar hasta la playa para obtener el flujo medio de energía en el punto de control, la barrera. Tras la propagación se medía α_{\min} y Y/L. Para el cálculo de la longitud de onda, L, se empleaba T_s y H_{s12} . Una vez realizadas todas las mediciones en las distintas playas, se recogieron todos los valores en una tabla que relacionaba los dos parámetros relevantes α_{\min} y Y/L, obteniendo la gráfica mostrada en la siguiente figura.

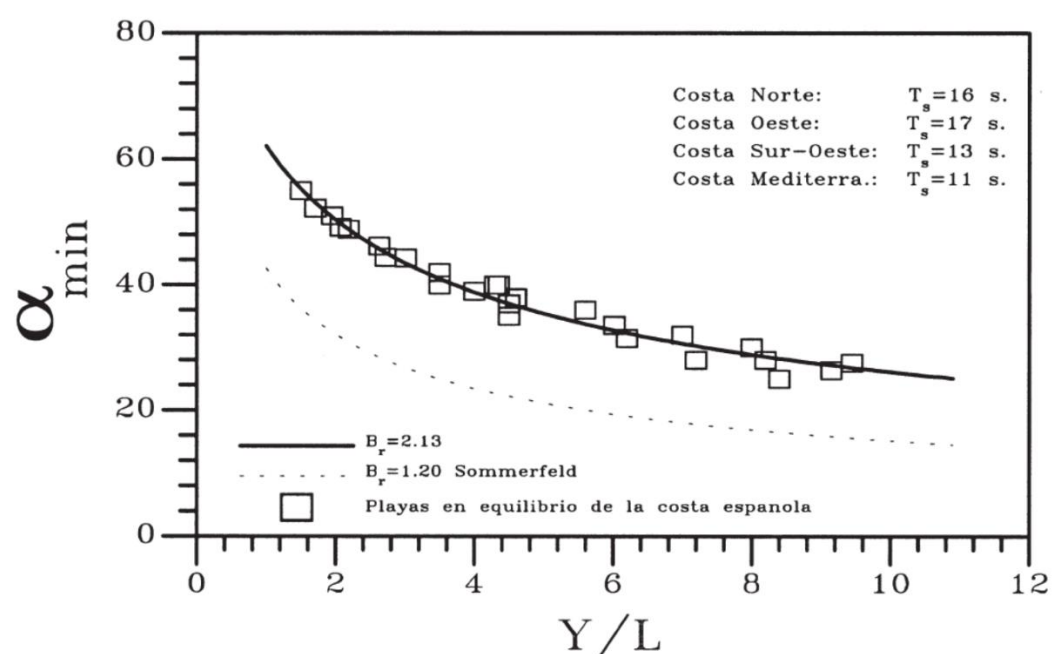


Figura 4.9 Gráfico de la relación entre Y/L y α_{min} .

La curva dibujada en la figura anterior se corresponde con la expresión siguiente tomando $\beta_r = 2.13$

$$\alpha_{min} = \arctan \left[\frac{\left(\frac{\beta_r^4}{16} = \frac{\beta_r^2 Y}{2 L} \right)^{\frac{1}{2}}}{\frac{Y}{L}} \right]$$

2.1.2 APLICACIÓN A LA PLAYA DE LA CONCHA

Previo a la construcción del espigón la forma de la playa era cambiante por causa de los grandes volúmenes de arena en constante movimiento que también pasaban como parte del ciclo por la playa de la Concha. Tras la construcción del espigón, la playa de la Concha pasa a ser una playa encajada y protegida en gran medida de temporales y eventos que puedan causar una desestabilización de la misma. Por ello podemos asumir que la forma que presentará la playa en el futuro se ajustará a la de una playa encajada de equilibrio con los puntos de difracción actuales más el añadido por el nuevo dique proyectado.

En la actualidad, para nuestro caso los elementos que están efectuando la función de barrera son los acantilados delimitantes del lado izquierdo de la ensenada y por la parte derecha, el espigón en construcción.

Para la evaluación de la planta actual y de la forma en planta de equilibrio futura, se ha empleado el programa SMC proporcionado por el IH Cantabria, el cual nos permite establecer de manera gráfica la ecuación que, acorde con el modelo de Hsu y Evans de 1989, mejor se ajuste a nuestra línea de costa.

Para ello debemos cargar una batimetría en el programa a partir de un archivo *.xyz, esta batimetría ha de corresponderse con un estado de marea concreto dado que a continuación debemos incluir una imagen de la playa tomada en un instante en el que el estado de la marea coincidiese con el de la batimetría. Se adjuntará también un archivo *.dxf que incluya las coordenadas de la línea de costa y posteriormente se hace encajar la imagen con la línea de costa para garantizar que la imagen está correctamente localizada.

En este caso se ha tomado la batimetría en un momento de pleamar y la imagen se ha extraído de la plataforma Google Earth Pro correspondiente a la playa de la Concha el día 21 de agosto de 2016 mientras se encontraba en un estado de pleamar.

El resultado final es el mostrado en la siguiente figura.

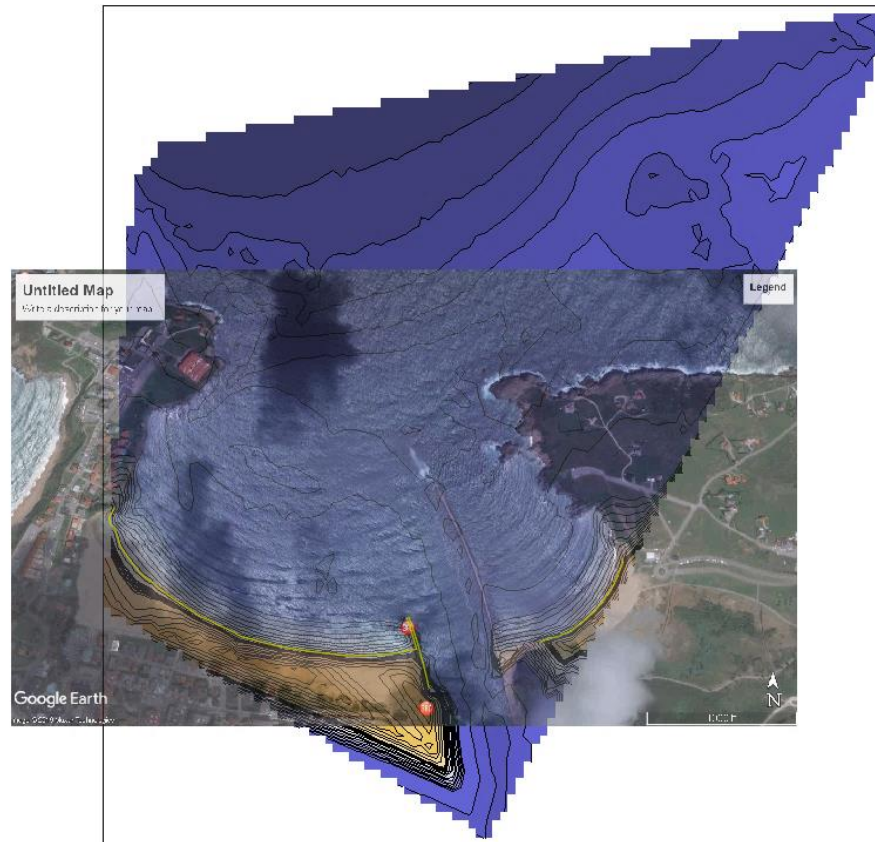


Figura 4.10 Modelo del SMC.

Una vez se ha hecho el ajuste, se procede a buscar la localización del punto de control para situar la forma en planta en equilibrio correspondiente a nuestra playa. Para dibujarla también necesitaremos saber la orientación del flujo medio de energía, así como el periodo y profundidad en la zona. Tanto la orientación del flujo como el periodo se obtienen a partir de la propagación del oleaje realizada para puntos a lo largo de toda la ensenada, y la profundidad en el punto de control se extrae de la batimetría.

La propagación del oleaje se realizó al punto indicado en la siguiente figura, con coordenadas $X=415761.925$ $Y=4810989.835$.



Figura 4.11 Situación del punto de la propagación.



De los gráficos mostrados son de los que se extraen los valores de la orientación del flujo medio de energía, así como el periodo para el punto previo a la entrada del oleaje en la ensenada. Como podemos observar en la rosa del oleaje, la dirección en esta área está bastante acotada por lo que nos resulta sencillo determinar el flujo medio en unos 30 grados noroeste.

Tomaremos 13 segundos como el valor modal del periodo. Este valor del periodo lo hemos obtenido como el correspondiente a un H_{s12} de 6.5 metros.

El principal punto que difracción del oleaje en la ensenada que estamos considerando es la Punta del Torco. La profundidad de la zona cercana es de unos 9 metros en estado de pleamar que es el estado en el que estamos introduciendo la batimetría.

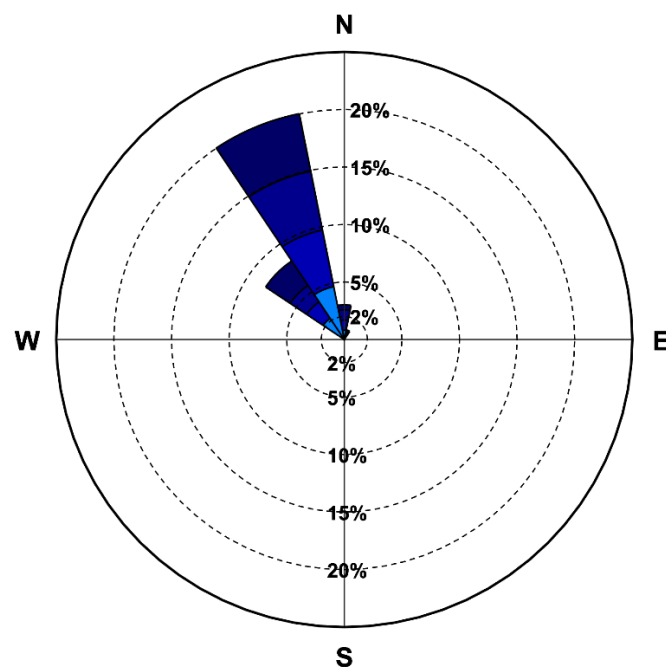


Figura 4.12 Rosa del oleaje en el punto.

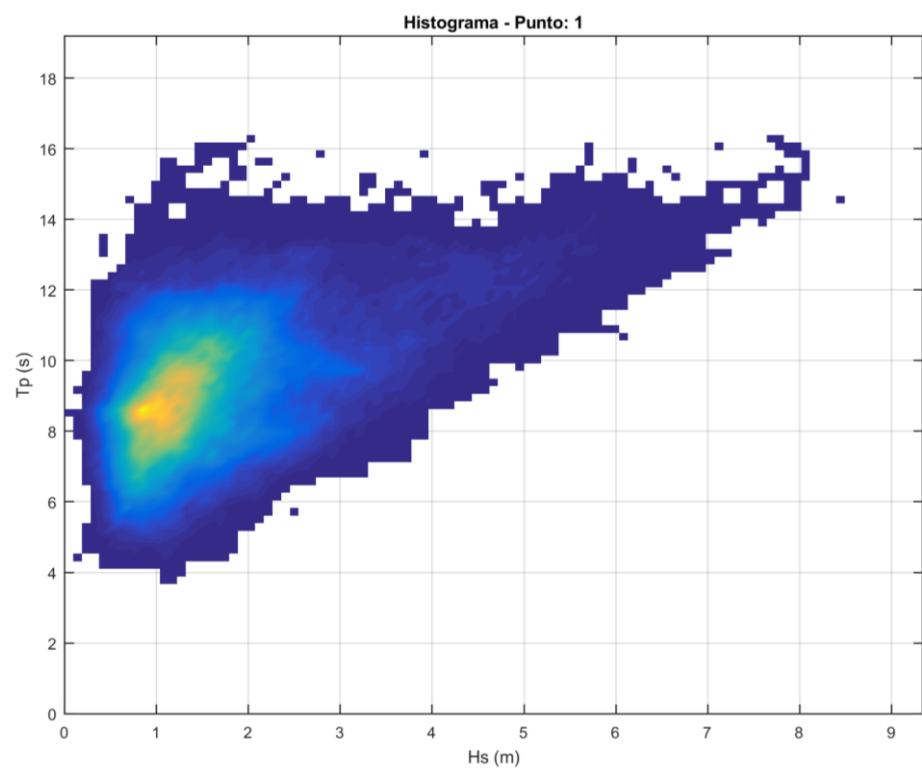


Figura 4.13 Histograma en el punto.

Con estos datos, podemos diseñar la forma en plata de equilibrio para nuestra playa. Para ello seleccionamos en el SMC la opción de crear playa de equilibrio y hacemos clic en el punto de la batimetría en el que consideramos que está nuestro punto de control. Posteriormente abrimos el editor de playas e introducimos los datos de periodo, orientación y profundidad en esa área. Seguidamente aumentamos la distancia Y (el punto azul) hasta que la curva quede próxima a línea de costa. Posteriormente retocamos el inicio y final de la playa así como la orientación en caso de ser necesario para que ambas líneas se asemejen lo más posible.



Editor de playas en equilibrio

Nombre Playa 1

Descripción

Playa en equilibrio

Planta de equilibrio Perfil de equilibrio Editor

Metodología de González & Medina 2001

Inicio en alfamin Inicio libre Punto de diseño

Forma en planta

Parábola de Hsu
Tan & Chiew
Espiral logarítmica α 32.7
Recta

Punto de control

Xd (m) 415752.662 Yd (m) 4810580.85

Frente del oleaje

θ (°) N30W T (s) 13.000
hd (m) 9.000 Ld (m) 117.776

Distancia de la línea de costa

Y (m) 1020.000 α min (°) 27.847
Y/Ld 8.66050808 β (°) 62.153
Ro (m) 1153.584

Figura 4.14 Editor de playa actual.

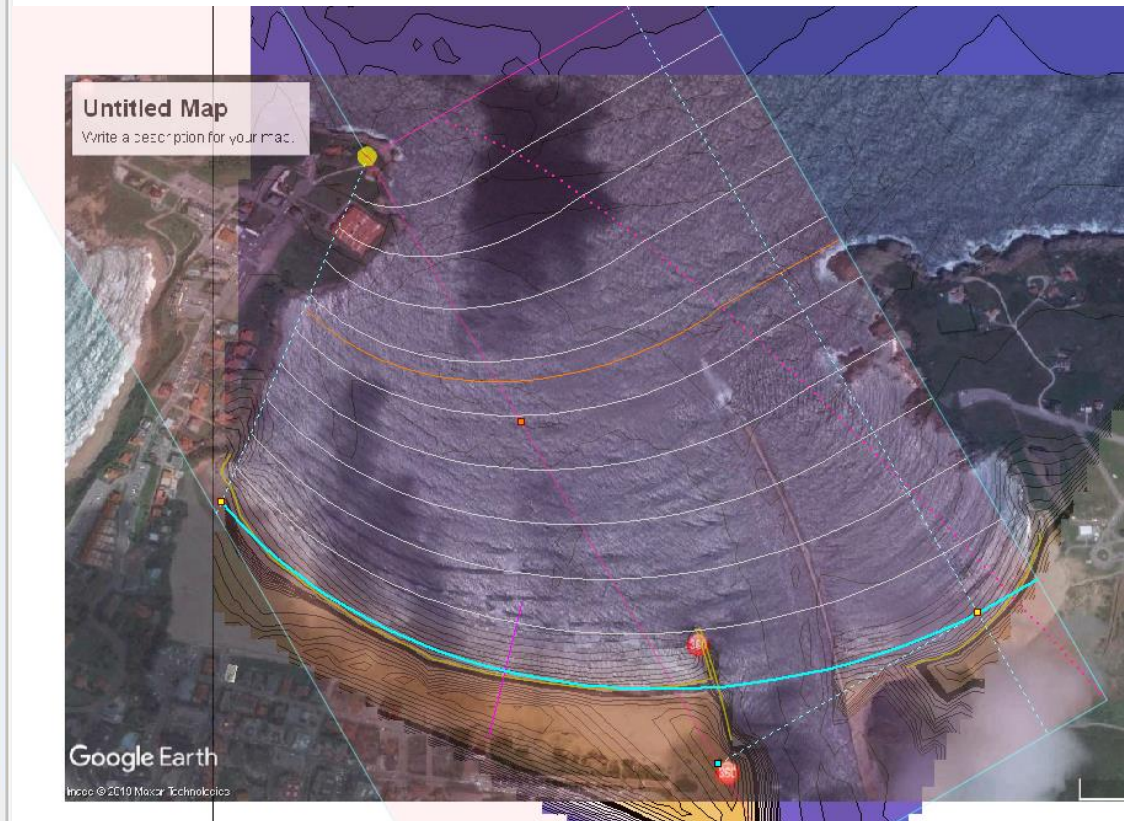


Figura 4.15 Playa de equilibrio actual en el SMC

Punto de Control

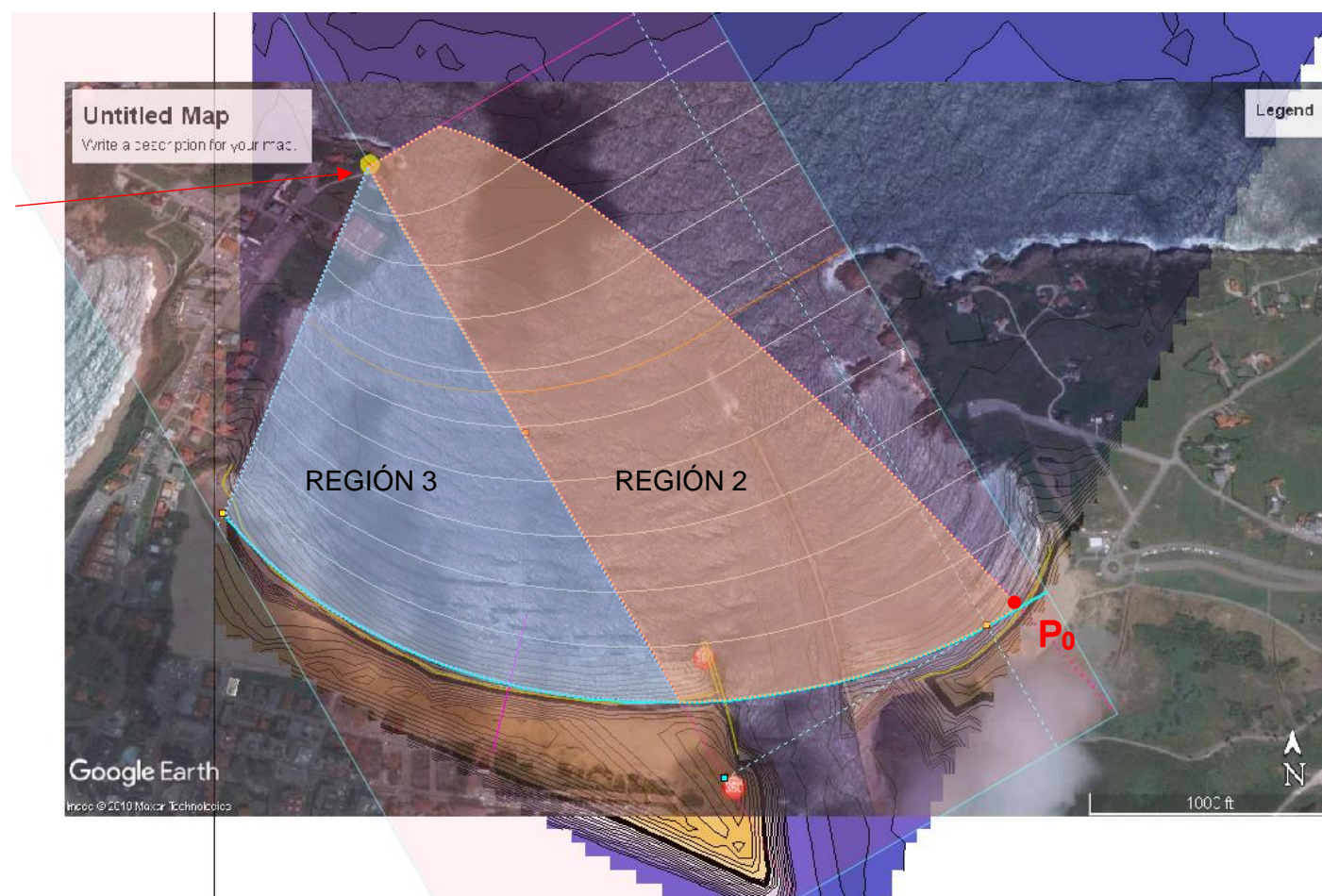


Figura 4.16 Esquema de las regiones en la playa actual.

Hay que tener en cuenta que la playa de la Concha en Suances es una playa hasta ahora bastante cambiante por lo que estamos asumiendo unos datos como invariables y no se corresponde con la realidad, tanto la batimetría como la orientación de la playa y por lo tanto la forma en planta sufren ligeras variaciones a lo largo del año con las distintas estaciones. Así mismo, se debe tener en cuenta que la curva correspondiente a la línea de costa según el modelo de Hsu y Evans, está referido a una forma en planta de equilibrio para oleajes estacionarios y playas desarrolladas lo cual no es nuestro caso actual.

En esta playa encontramos numerosos bajos que ejercen de puntos de difracción y que no podemos localizar ya que están en continuo movimiento, por otra parte, están los efectos de la desembocadura de la Ría de San Martín. Dichos efectos se prevé que desaparezcan con la construcción del espigón y a partir de ese momento contar con una playa que, tras los cambios iniciales, sí que adquirirá la categoría de playa de equilibrio.



Para determinar la forma en planta futura necesitamos añadir al punto de control actual, el segundo punto de difracción generado por el nuevo espigón.

Para ello debemos incluir en el SMC un nuevo archivo con las coordenadas de nuestro dique.

Necesitamos los valores de profundidad, orientación y periodo para ese punto que establecemos de la misma forma que para el primer punto anterior. Tomaremos como punto de obtención de los datos, el punto 2 de la segunda propagación realizada, la que estudia puntos dentro de la ensenada alrededor del dique. Las coordenadas correspondientes a este punto son $X=416062.290$ e $Y=4810462.382$.

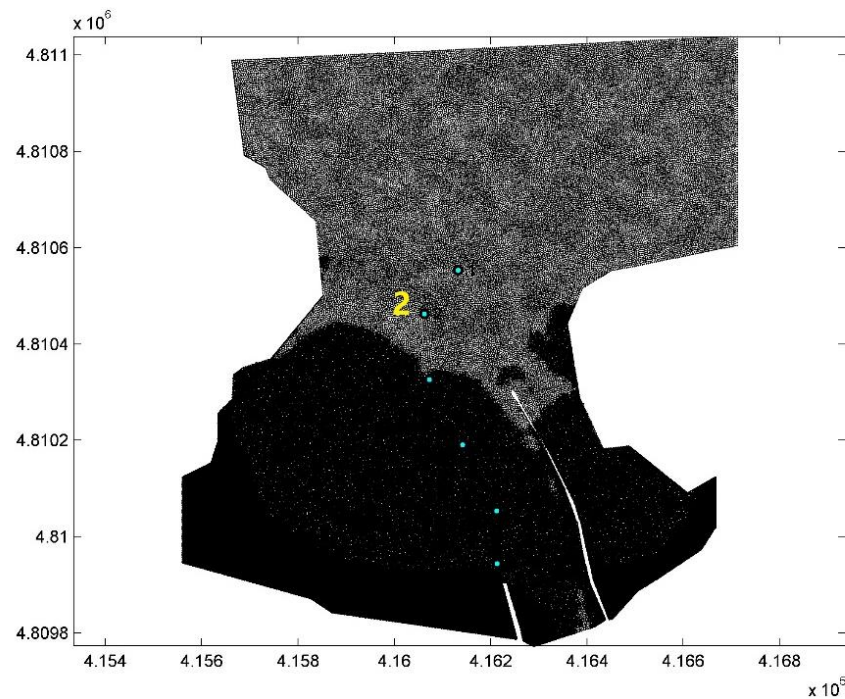


Figura 4.17 Situación del punto origen de los datos.

Como podemos observar en la rosa del oleaje, la dirección en esta área está bastante acotada por lo que nos resulta sencillo determinar el flujo medio en unos 20 grados noroeste. Esta dirección ha de ser a su vez, tangente a los frentes de oleaje representados desde el punto de control de la Punta del Torco dado que es la orientación del oleaje tras la distorsión ya existente antes de la construcción del espigón. Tomaremos 13 segundos como el valor modal del periodo. Este valor del periodo lo hemos obtenido como el correspondiente a un H_{s12} de 3.5 metros. La profundidad de la zona cercana al punto de control es de unos 7 metros en estado de pleamar que es el estado en el que estamos introduciendo la batimetría.

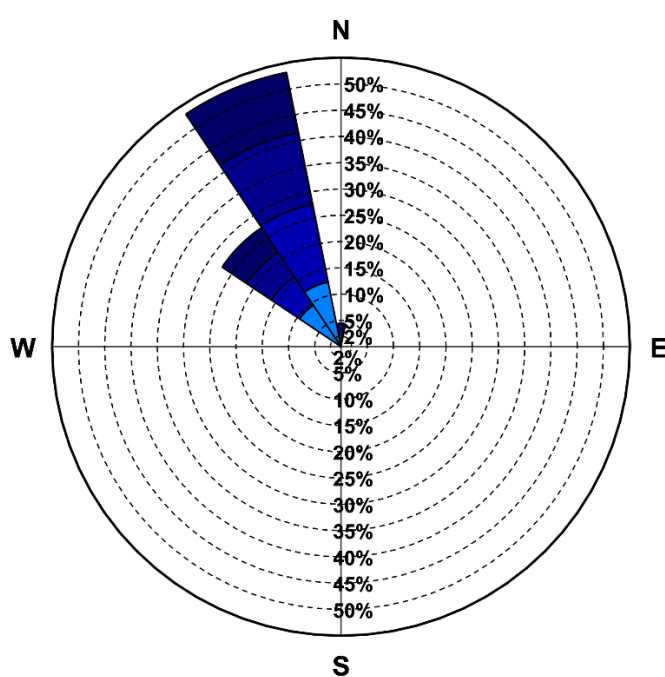


Figura 4.18 Rosa del oleaje en el punto 2.

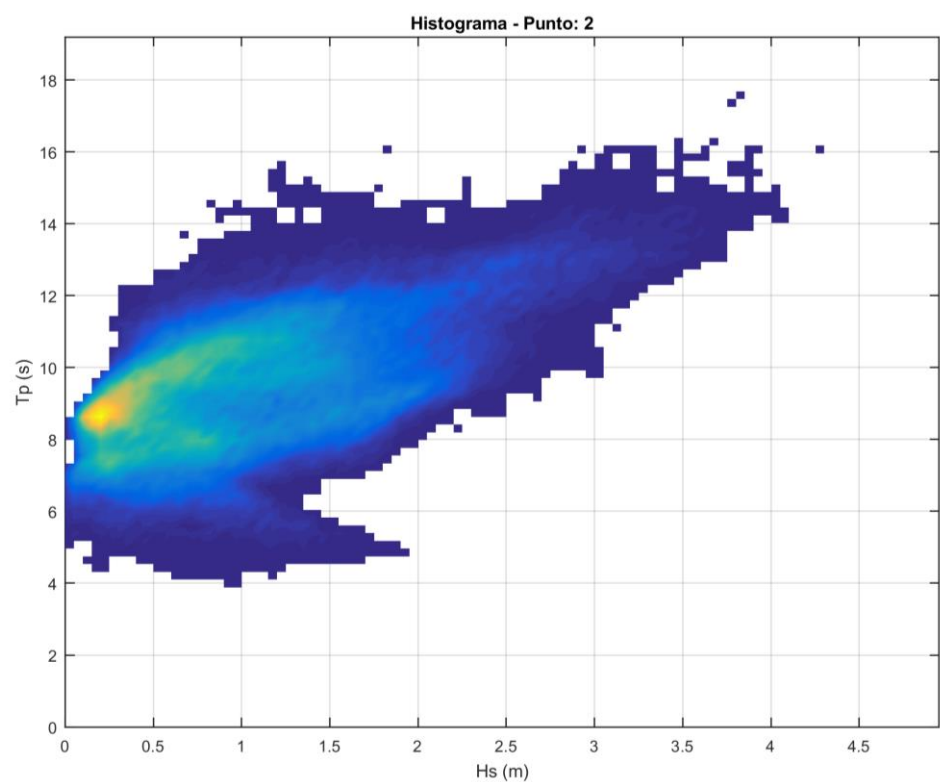


Figura 4.19 Histograma en el punto 2.

Repetimos el mismo proceso que para el anterior punto de control, y situamos sobre este nuevo punto una nueva playa de equilibrio, la cual definimos con los parámetros extraídos de nuestra propagación. Estos, nos determinan todo el diseño excepto la distancia desde el punto de control a la playa, denominada "Y". Para saber dónde situar la línea de costa del nuevo



tramo de playa haremos coincidir P_0 con la playa ya existente. Tomamos este punto como fin del nuevo tramo de playa puesto que P_0 , es el punto de la línea de costa, más alejado del punto de control que sufre alteraciones del oleaje por refracción o difracción por lo tanto toda la zona no incluida en las regiones 2 y 3 del nuevo punto de control tan solo se ve afectada por el punto de control ya existente y situado en la Punta del Torco.

Figura 4.20 Editor de playa nueva.

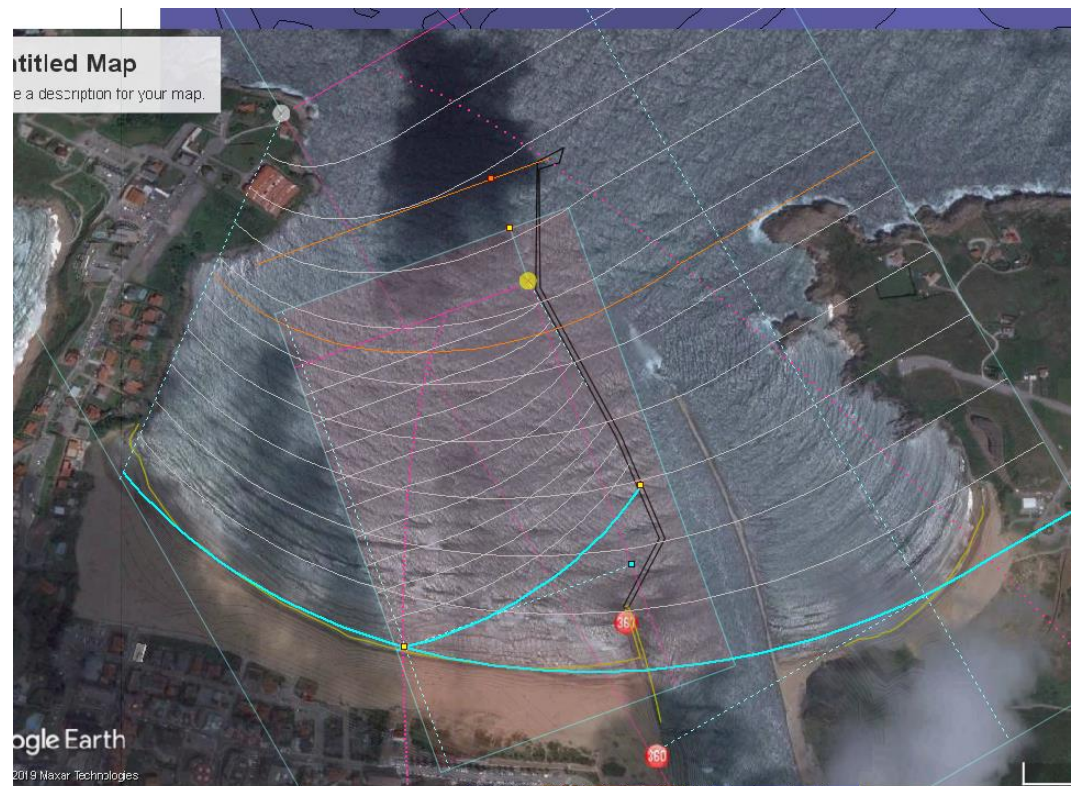


Figura 4.21 Playa de equilibrio nueva en el SMC

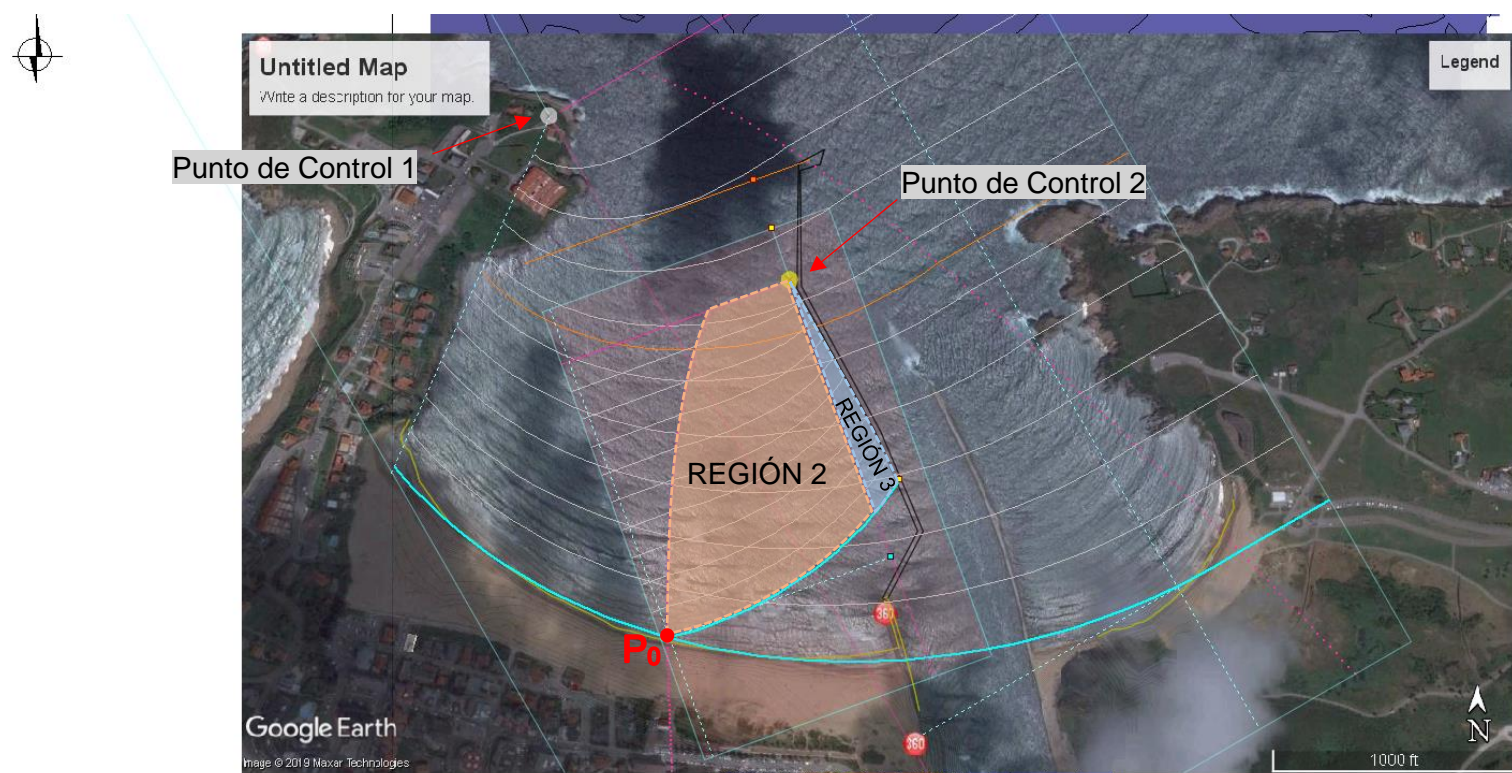


Figura 4.22 Esquema de las regiones de la playa nueva.

Por último, el punto de unión entre las dos playas de equilibrio se suavizará. La forma en planta será de manera aproximada, la mostrada a continuación aunque aún puede variar la distancia hacia el mar desde la línea de costa actual a la que se sitúe esta nueva línea de costa dependiendo del cálculo de volúmenes de arena que se realizará en apartados posteriores de este capítulo.



Figura 4.23 Forma en planta de equilibrio sin avance.

Puntos de la nueva forma en planta de equilibrio			
X	Y	X	Y
415541.6660632	4810126.3519358	416005.9956256	4809876.4582077
415575.4354859	4810058.8130904	416060.0267020	4809896.7198613
415612.5818509	4810004.7820140	416100.5500092	4809918.6699861
415671.6783407	4809959.1932933	416125.8770763	4809938.9316397
415735.8402439	4809918.6699861	416163.0234413	4809967.6356490
415788.1828491	4809891.6544479	416186.6620372	4809991.2742449
415827.0176852	4809874.7697365	416210.3006331	4810016.6013120
415862.4755791	4809866.3273809	416230.9269776	4810037.3385275
415938.4567802	4809862.9504386	416247.4469981	4810060.5015615

2.2 PERFIL DE EQUILIBRIO

2.2.1 TEORÍA

El perfil de equilibrio es la forma que la playa tiende a dibujar en alzado frente a un oleaje estacionario con el paso del tiempo. Al igual que en el caso de la forma en planta, el resultado es un perfil ideal dado que corresponde a una situación estacionaria que no se da en la realidad. Pese a ser una aproximación, la formulación que describe el perfil de equilibrio ha evolucionado bastante. Existen dos tipos de perfiles, los perfiles de un tramo y perfiles de dos tramos.

El primero en reparar en que los perfiles de algunas playas seguían una pauta fue Brunn en 1954, disponiendo que dicha curva se podía describir con la expresión:

$$h(x) = A * x^{\frac{2}{3}}$$

Donde x es la distancia desde la línea de costa, h(x) es la profundidad a esa distancia y A es un parámetro dependiente de las características del sedimento.

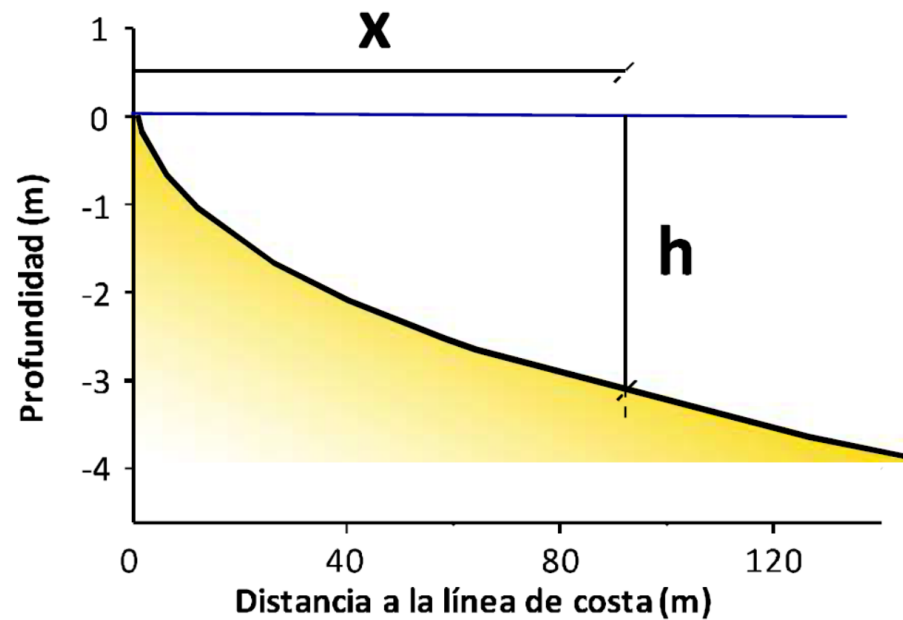


Figura 4.24 Perfil de Dean.

En un principio, esta curva solo era aplicable a medida que nos alejamos de la costa, una vez pasada la zona de rotura, pero en 1977, Dean determinó de manera empírica que dicha formulación era también aplicable para la zona de rotura del oleaje. Analizando esta expresión, Moore propuso en 1982, una relación extraída de la observación, entre el parámetro A y el tamaño de grano del sedimento; que 5 años más tarde sería transformada por Dean para pasar a relacionar la velocidad de sedimentación de las partículas (w) con este mismo parámetro, A:

$$A = 0.51 * w^{0.44}$$

Vellinga estudió los perfiles de erosión generando, en 1983, una expresión que contemplaba el efecto de la altura de ola significativa en profundidades indefinidas y de la velocidad de caída de grano ya contemplada por Dean. Finalmente concluyó sus estudios con una expresión muy similar a la propuesta por Brunn y Dean, pero con 0.78 como exponente en lugar de 2/3. Analizando los resultados de ambas curvas se comprueba que resultan muy similares.

En 1992, tomando los perfiles de las mismas playas que Dean, Bodge determinó que muchos de ellos se ajustaban mejor a una curva exponencial que a una potencial.

$$h(x) = B * (1 - e^{-kx})$$

Siendo B y k coeficientes empíricos que afectan respectivamente a la profundidad y la concavidad del perfil.

Hubo un último avance sobre esta misma formulación en 1994 que fue realizado por Komar y McDougal que adaptaron la expresión de Bodge para hacer que solo dependiera del coeficiente k, incluyendo la pendiente del frente de playa, S_0 .

$$h(x) = \frac{S_0}{k} * (1 - e^{-kx})$$

Todos los estudios desarrollados en esta línea de investigación no estaban completos puesto que las formulaciones para los perfiles de un tramo no tienen en cuenta la afección de la marea ni del oleaje y tampoco contemplan un cambio del perfil en la zona de rotura. Esto llevó a la creación del segundo tipo de perfil, el perfil de dos tramos.

La primera persona en plantear el concepto del perfil en dos tramos fue Iribarren en 1954 pero no fue hasta 1993 cuando este tipo de perfil fue desarrollado por Inman basándose en datos de campo. Este perfil de equilibrio está compuesto por dos perfiles de un tramo de los propuestos por Brunn o Dean y adaptados a cada uno de los tramos, un primer tramo en la zona de propagación de las olas tras la rotura y un segundo tramo en la zona del asomeramiento del oleaje.

Existen formulaciones tanto para perfiles de playa reflejante o disipativa sin marea como para playas con marea, en cualquiera de los casos el perfil está formado por 2 tramos.

Nos vamos a centrar en el perfil para playas con marea dado que en toda la costa Cantábrica y en la ensenada de Suances en particular, hay una importante carrera de marea en torno a los 4.8 metros por lo que no podemos obviarla.

En zonas con marea, la zona de rotura y asomeramiento varían con el nivel del agua y la zona intermareal se encuentra en desequilibrio debido a esos cambios o más bien en equilibrio dinámico dado que no hay entrada ni salida de sedimento simplemente una reordenación continua.

En 1999, Bernabeu, apoyándose en teorías de Kriebel y Dean, formuló un perfil de dos tramos para playas con marea sobre el cual demostró que siempre que la ratio entre la carrera de marea y la altura de ola incidente fuera inferior a 3, la



formulación del perfil de equilibrio es asemejable al de las playas micromareales. También determinó que la forma del perfil está dominada por la influencia de la rotura, es decir, que el tramo más cercano a la playa, o tramo de rotura, abarca desde la pleamar hasta donde comienza a romper el oleaje en bajamar. Por lo tanto, a mayor carrera de marea, más largo será el tramo de rotura.

El perfil de equilibrio de una playa con marea está definido por una serie de parámetros y expresiones que son las siguientes:

$$\Omega = \frac{H_s}{w_s * T_p}$$

Donde:

Ω es el parámetro adimensional de caída de grano que depende de la altura significativa de ola (H_s), la velocidad de caída de grano del tamaño medio del sedimento (w_s) y del periodo de pico obtenido a partir de la moda para los periodos correspondientes a la altura de ola H_s (T_p).

Los siguientes parámetros se emplean para la definición de los perfiles:

$$A_R = 0.21 - 0.02 * \Omega$$

$$C = 0.06 + 0.04 * \Omega$$

$$B = 0.89 \exp(-1.24 * \Omega)$$

$$D = 0.22 \exp(-0.83 * \Omega)$$

Estos parámetros definen la concavidad de cada tramo y con ello el tipo de playa diferenciando entre disipativa, intermedia o reflejante. Cada uno de ellos afecta directamente a la pendiente en los extremos de ambos tramos.

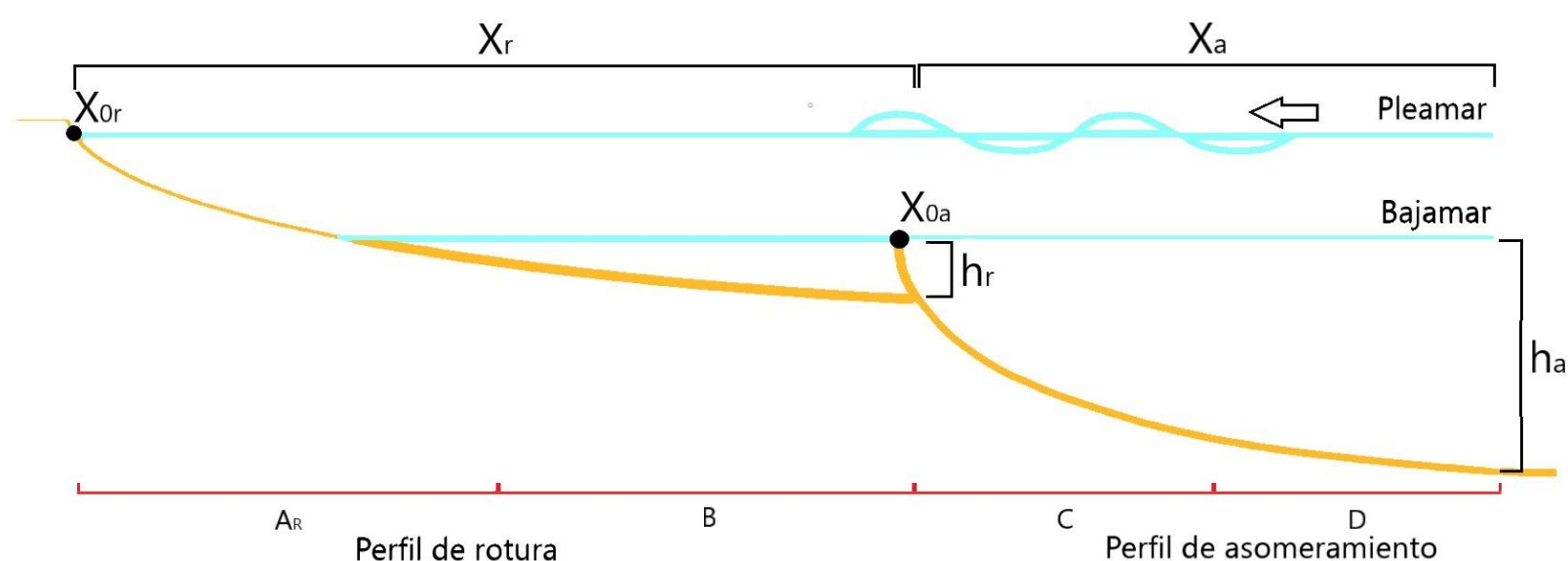


Figura 4.25 Esquema del perfil de Bernabeu.

Dependiendo de si el parámetro adimensional de caída de grano es alto, medio o bajo; la playa toma una función disipativa ($\Omega > 5$), intermedia ($2 < \Omega < 5$) o reflejante ($\Omega < 2$) respectivamente tal y como muestra la siguiente tabla.

$\uparrow \frac{H}{wT}$	Perfil de ROTURA	$\downarrow A_R$	Pendiente inicial tendida	PERFIL DISIPATIVO
		$\downarrow \downarrow B$	Pendiente aguas-adentro pronunciada	
	Perfil de ASOMERAMIENTO	$\uparrow C$	Pendiente inicial pronunciada	
		$\downarrow \downarrow D$	Pendiente aguas-adentro pronunciada	
$\downarrow \frac{H}{wT}$	Perfil de ROTURA	$\uparrow A_R$	Pendiente inicial pronunciada	PERFIL REFLECTANTE
		$\uparrow B$	Pendiente aguas-adentro tendida	
	Perfil de ASOMERAMIENTO	$\downarrow C$	Pendiente inicial tendida	
		$\uparrow D$	Pendiente aguas-adentro tendida	

Figura 4.26 Tabla de clasificación de tipos de playa.



2.2.1.1 PERFIL DE ROTURA:

$$X = \left(\frac{h}{A_R} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{B}{A_R^{\frac{3}{2}}} * h^3$$

$$h_r = 1.1 * H_s$$

X_{0r} : Origen de la curva del perfil de rotura y coincide con la línea de costa en la situación de pleamar.

X : Distancia desde el origen del perfil de rotura.

h : Profundidad del perfil para cada distancia, X . Es positiva hacia abajo.

h_r : Profundidad de rotura en bajamar. Esta será la cota hasta la que avanzará el perfil de rotura y en la que intersectará con el perfil de asomeramiento.

2.2.1.2 PERFIL DE ASOMERAMIENTO:

$$X_{0a} = \left(\frac{h_r + M}{A_R} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{B}{A_R^{\frac{3}{2}}} * (h_r + M)^3 - \left(\frac{h_r}{C} \right)^{\frac{3}{2}} - \frac{D}{C^{\frac{3}{2}}} * h_r^3$$

$$X = x - X_{0a} = \left(\frac{h}{C} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{D}{C^{\frac{3}{2}}} * h^3$$

$$h_a = 1.57 * H_{s12}$$

x : Distancia medida desde el origen del perfil de rotura. Línea de costa en pleamar.

X_{0a} : Origen de la medida de distancias para el diseño de la curva de asomeramiento.

X : Distancia desde X_{0a} que define el perfil de asomeramiento.

h : Profundidad del perfil para cada distancia, X . Es positiva hacia abajo.

h_a : Profundidad de corte del perfil de asomeramiento en la que el fondo no se ve afectado por las dinámicas del oleaje.

M : Carrera de marea.

H_{s12} : altura de ola superada 12 horas al año.

2.2.2 APLICACIÓN A LA PLAYA DE LA CONCHA

Para la aplicación de las expresiones del perfil de equilibrio de dos tramos de la formulación de Bernabeu necesitamos calcular los parámetros correspondientes para la implementación en la playa de la Concha.

En primer lugar, para el cálculo de Ω , el parámetro adimensional de caída de grano, necesitamos los valores de H_s , w_s y T_p .

Para el valor de la altura significativa de ola dentro de la ensenada tomaremos el valor obtenido de la propagación con el dique ya construido realizada con el MSP de la cual obtenemos el gráfico de la figura 4.27. En dicha figura se observa el régimen medio en el punto 2 y tomaremos el valor de H_s superado el 50% del tiempo (probabilidad del 50%).

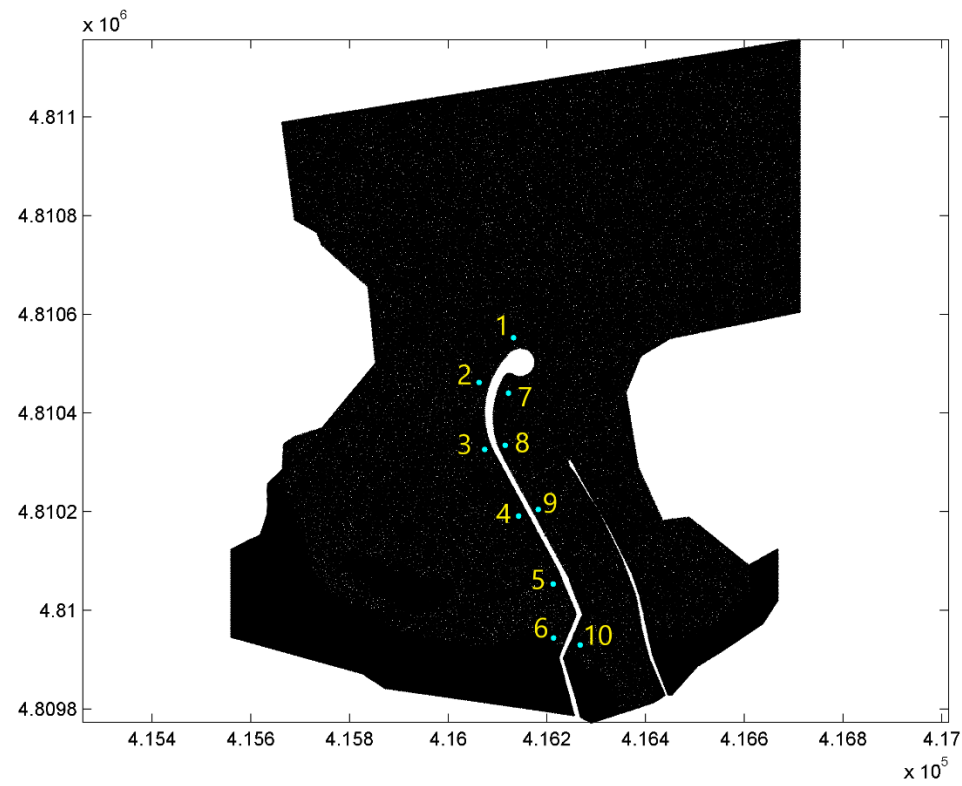


Figura 4.27 Localización punto 2.

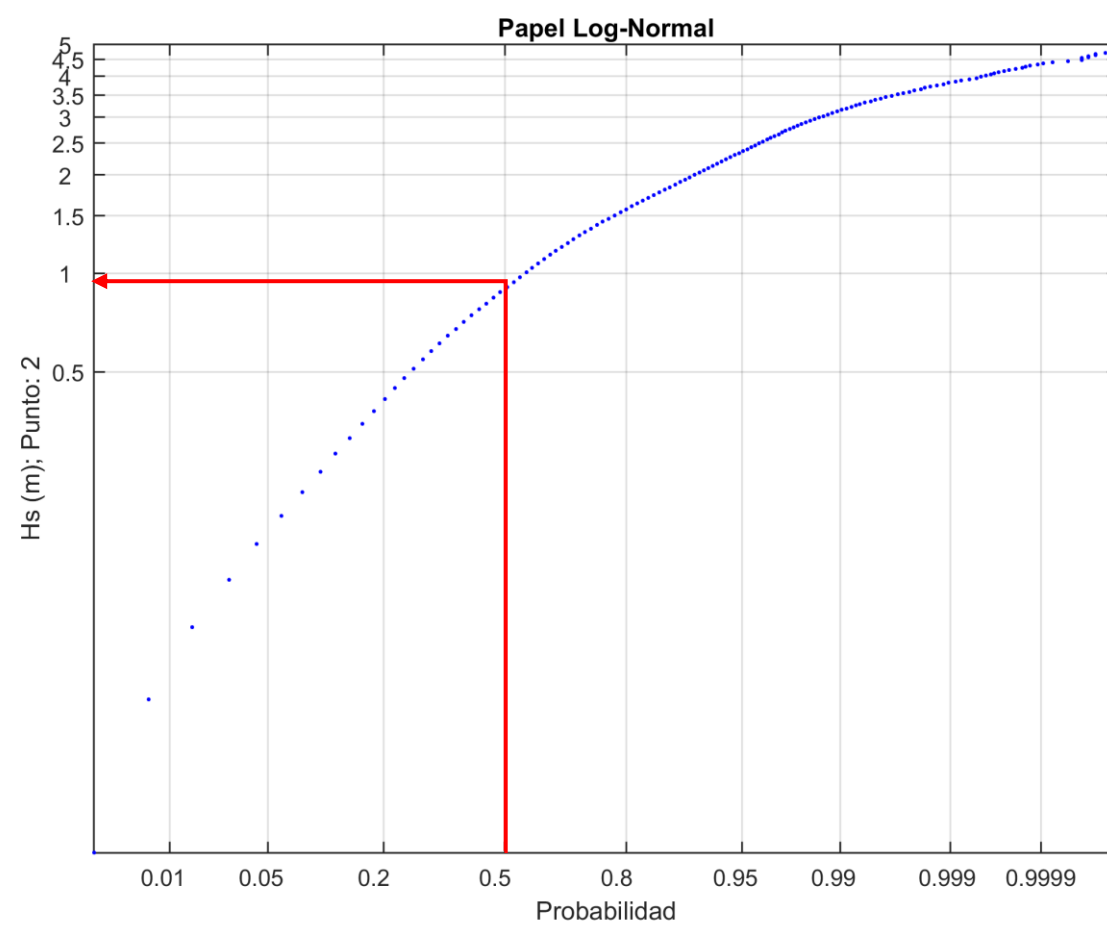


Figura 4.28 Régimen medio en el punto 2.

El valor del periodo de pico modal correspondiente a la altura de ola significativa de 1 metro se obtiene de esta misma propagación, en este caso del histograma de la figura 4.29.

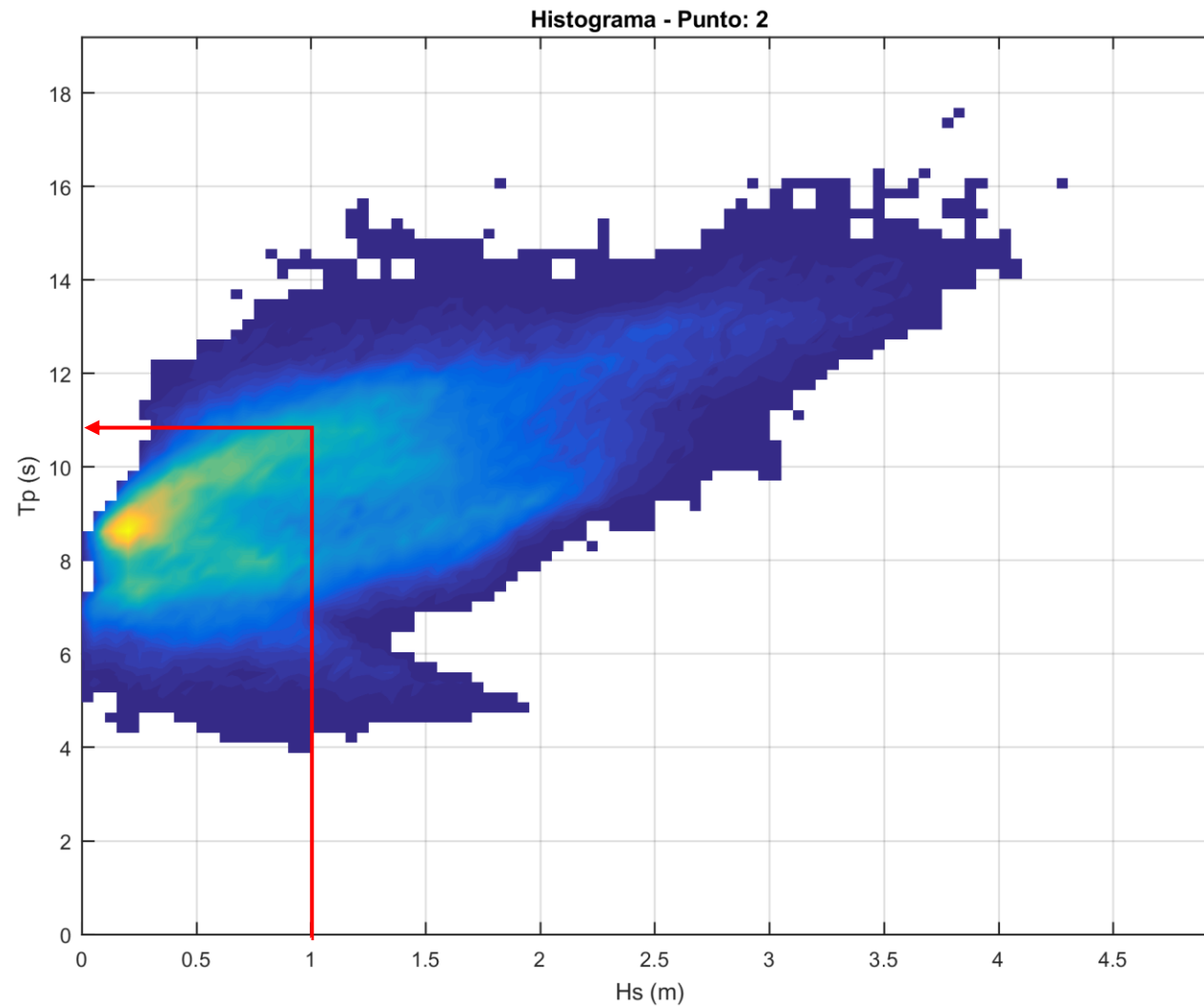


Figura 4.29 Histograma del punto 2.

Tras obtener el valor de 11 segundos para el periodo de pico, solo falta obtener la velocidad de caída de grano. Aplicando la formulación de Hallermeier para un tamaño de sedimento D_{50} de 0.3 mm y una densidad de 2650 kg/m³, la velocidad de caída de grano, w_s , es de 0.035 m/s. Con estos valores ya podemos obtener el parámetro Ω .

$$\Omega = \frac{H_s}{w_s * T_p} = \frac{1}{0.035 * 11} = 2.6$$

Los siguientes parámetros se emplean para la definición de los perfiles:

$$A_R = 0.21 - 0.02 * \Omega = 0.158$$

$$C = 0.06 + 0.04 * \Omega = 0.164$$

$$B = 0.89 \exp(-1.24 * \Omega) = 0.0354$$

$$D = 0.22 \exp(-0.83 * \Omega) = 0.0254$$

A la vista de los valores de estos parámetros podemos determinar que nuestra playa definitiva será de tipo intermedio.

2.2.2.1 PERFIL DE ROTURA:

$$X = \left(\frac{h}{0.158} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{0.0354}{0.158^{\frac{3}{2}}} * h^3$$

$$h_r = 1.1 * H_s = 1.1 \text{ m}$$

$X_{0r} = 0 \text{ m}$.

X : Distancia desde el origen del perfil de rotura.

h : Profundidad del perfil para cada distancia, X . Es positiva hacia abajo.

h_r : Profundidad de rotura en bajamar. Esta será la cota hasta la que avanzará el perfil de rotura y en la que intersectará con el perfil de asomeramiento.

En la zona de Suances, como ya hemos explicado en el capítulo 2, el nivel de bajamar está situado a la cota +0.154 m por lo que la cota de pleamar, teniendo en cuenta que la carrera de marea es de 4.8 metros, es de + 4.954 metros. Esta cota se



toma como cero para la obtención de la X del perfil en la ecuación, las distancias se colocarán como positivas en la ecuación hasta la cota h_r la cual es de 1.1 m con respecto a la bajamar por lo tanto en la ecuación se corresponde con la cota $h_r = 4.8 + 1.1 = 5.900$ m, la cual se corresponde con una distancia $X_r = 344.01$ m.

h en la ecuación (m)	X (m)	h sobre CP (m)
0.000	0.000	4.954
0.100	0.504	4.854
0.200	1.429	4.754
0.300	2.632	4.654
0.400	4.064	4.554
0.500	5.700	4.454
0.600	7.522	4.354
0.700	9.519	4.254
0.800	11.682	4.154
0.900	14.006	4.054
1.000	16.487	3.954
1.100	19.120	3.854
1.200	21.905	3.754
1.300	24.840	3.654
1.400	27.923	3.554
1.500	31.155	3.454
1.600	34.535	3.354
1.700	38.064	3.254
1.800	41.741	3.154
1.900	45.569	3.054
2.000	49.548	2.954
2.100	53.678	2.854
2.200	57.962	2.754
2.300	62.402	2.654
2.400	66.997	2.554
2.500	71.751	2.454
2.600	76.666	2.354
2.700	81.742	2.254
2.800	86.982	2.154
2.900	92.388	2.054
3.000	97.963	1.954
3.100	103.708	1.854
3.200	109.626	1.754
3.300	115.719	1.654
3.400	121.989	1.554
3.500	128.439	1.454
3.600	135.071	1.354
3.700	141.888	1.254
3.800	148.893	1.154
3.900	156.087	1.054
4.000	163.474	0.954
4.100	171.055	0.854
4.200	178.835	0.754
4.300	186.814	0.654
4.400	194.997	0.554
4.500	203.386	0.454
4.600	211.983	0.354
4.700	220.792	0.254
4.800	229.815	0.154
4.900	239.054	0.054
5.000	248.514	-0.046
5.100	258.196	-0.146
5.200	268.103	-0.246
5.300	278.239	-0.346
5.400	288.606	-0.446
5.500	299.207	-0.546
5.600	310.045	-0.646
5.700	321.123	-0.746
5.800	332.444	-0.846
5.900	344.010	-0.946



2.2.2.2 PERFIL DE ASOMERAMIENTO:

Para el cálculo del perfil de asomeramiento necesitamos calcular la altura de ola significativa solo superada durante 12 horas al año, H_{s12} , para saber a qué cota deja de tener influencia el oleaje sobre el fondo. Para ello necesitamos calcular la probabilidad a la que corresponde el solo ser superada durante 12 horas al año:

$$\text{Probabilidad de no excedencia} = 1 - \frac{12 \text{ horas}}{365 \text{ días} * 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}}} = 1 - 0.00137 = 0.99863$$

A continuación, podremos obtener la altura de ola del gráfico de régimen medio de la siguiente figura:

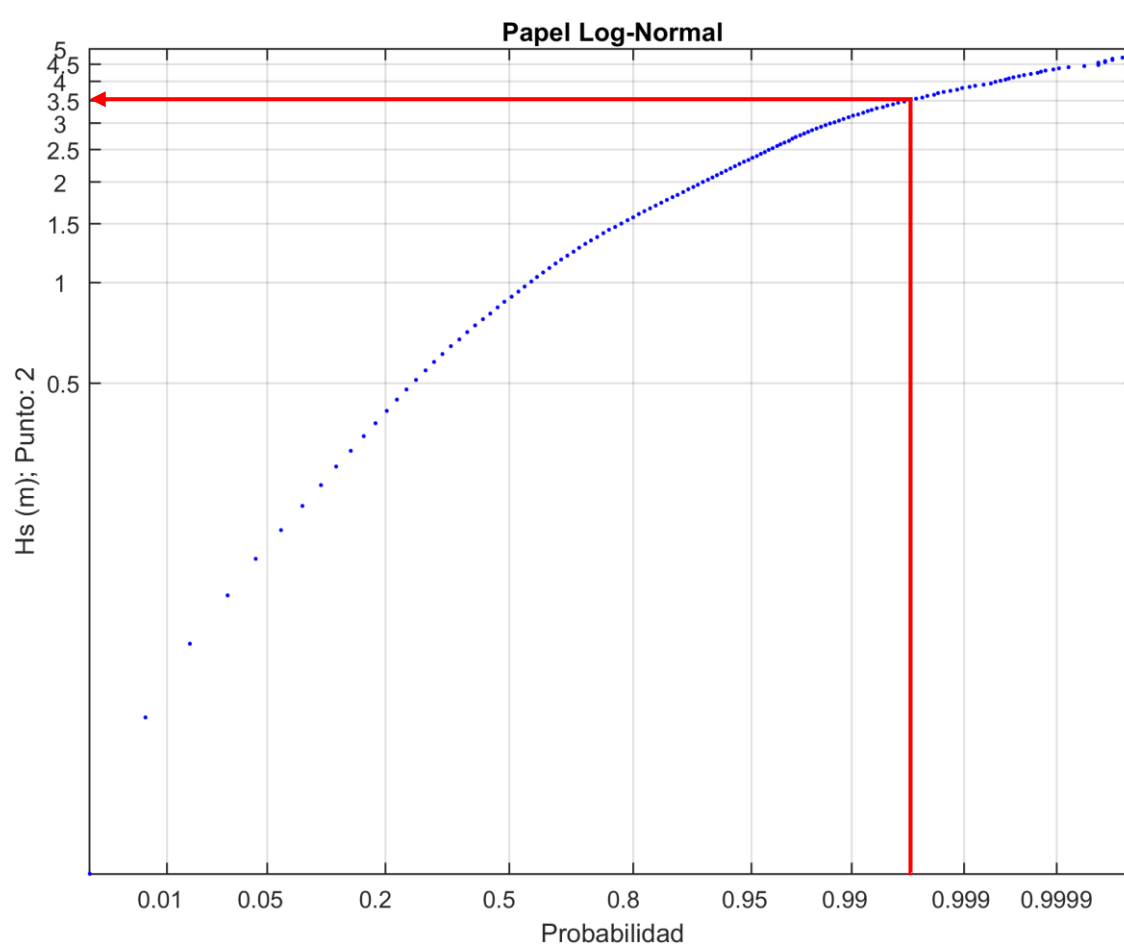


Figura 4.30 Régimen medio para el punto 2.

$$X_{0a} = \left(\frac{1.1 + 4.8}{0.158} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{0.0354}{0.158^{\frac{3}{2}}} * (1.1 + 4.8)^3 - \left(\frac{1.1}{0.164} \right)^{\frac{3}{2}} - \frac{0.0254}{0.164^{\frac{3}{2}}} * 1.1^3 = 326.13 \text{ m}$$

$$X = x - X_{0a} = \left(\frac{h}{0.164} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{0.0254}{0.164^{\frac{3}{2}}} * h^3$$

$$h_a = 1.57 * H_{s12} = 1.57 * 3.5 = 5.5 \text{ m}$$

Con la ecuación obtenida, generamos la siguiente tabla de puntos para poder dibujar el perfil. La cota final referido al cero del puerto es de -5.5 m con respecto a la bajamar menos el desfase entre la bajamar y el C.P. por lo que h_a será igual a -5.346 m.

h en la ecuación (m)	X (m)	h sobre CP (m)
1.1	344.010	-0.946
1.2	346.584	-1.046
1.3	349.289	-1.146
1.4	352.122	-1.246
1.5	355.083	-1.346
1.6	358.171	-1.446
1.7	361.385	-1.546
1.8	364.724	-1.646



1.9	368.189	-1.746
2	371.779	-1.846
2.1	375.496	-1.946
2.2	379.338	-2.046
2.3	383.307	-2.146
2.4	387.404	-2.246
2.5	391.628	-2.346
2.6	395.982	-2.446
2.7	400.465	-2.546
2.8	405.079	-2.646
2.9	409.824	-2.746
3	414.703	-2.846
3.1	419.715	-2.946
3.2	424.863	-3.046
3.3	430.148	-3.146
3.4	435.571	-3.246
3.5	441.132	-3.346
3.6	446.835	-3.446
3.7	452.680	-3.546
3.8	458.669	-3.646
3.9	464.802	-3.746
4	471.083	-3.846
4.1	477.512	-3.946
4.2	484.090	-4.046
4.3	490.821	-4.146
4.4	497.704	-4.246
4.5	504.743	-4.346
4.6	511.938	-4.446
4.7	519.291	-4.546
4.8	526.804	-4.646
4.9	534.480	-4.746
5	542.318	-4.846
5.1	550.322	-4.946
5.2	558.493	-5.046
5.3	566.834	-5.146
5.4	575.345	-5.246
5.5	584.028	-5.346

2.2.2.3 PERFIL DE EQUILIBRIO

Con la unión de ambos tramos del perfil de equilibrio, el tramo de rotura y el de asomeramiento, obtenemos el siguiente perfil representado en la figura 4.31.

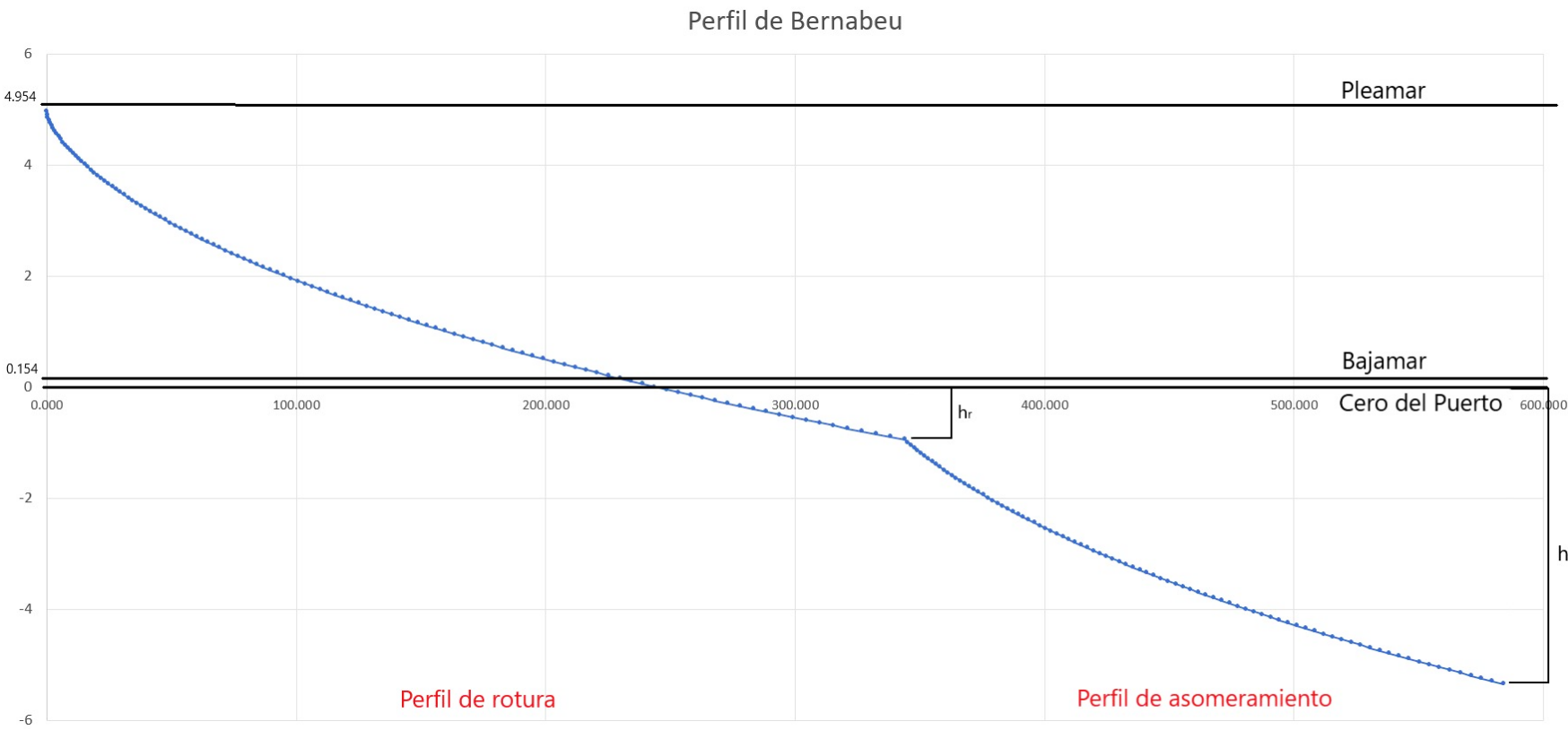


Figura 4.31 Perfil de Bernabeu.



A este perfil, en caso de avance de la línea de costa, se le añadirá un tramo recto a la cota +4.954, pleamar, de la longitud del avance.

3 CÁLCULO DE LA PLAYA DE EQUILIBRIO

Para el cálculo de la playa de equilibrio debemos unificar el perfil y la planta explicados en apartados anteriores mediante un cálculo de volúmenes que explicaremos y desarrollaremos en este apartado.

El cálculo de volúmenes consiste en calcular el volumen de arena actual de la playa e igualarlo al volumen posterior a la construcción del dique y desarrollo del nuevo perfil. Para ello debemos asumir que la situación de la arena en el momento en el que se realizó la batimetría coincidirá con la del momento de la construcción del dique, lo cual no podemos saber dado que la arena está en constante movimiento a lo largo de la ensenada. Por otro lado, debemos asumir que no se producirá entrada ni salida de sedimento durante o tras la construcción y que el volumen de arena actual en los bajos de la playa de la Concha simplemente se reordenará hasta alcanzar la forma de perfil de equilibrio.

Para ello se trató de emplear el programa del Instituto Hidráulico de Cantabria, SMC, para el cálculo de la forma final de la playa de equilibrio, pero resulta imposible dado que dicho programa solo contempla el volumen de arena que habría que rellenar para que el terreno actual alcance la forma de equilibrio, pero no contempla la reordenación de la arena de los bajos para el relleno de dichos espacios, no mide el volumen de arena que se encuentra por encima del perfil de equilibrio.

En cualquier caso, y como apuntaremos más adelante, sí que nos hemos apoyado en el programa SMC para estudiar el avance de la playa y obtener perfiles de la batimetría.

Ante la imposibilidad de realizar la estimación con el SMC, se ha escogido un método manual que consiste en dividir la ensenada en diez partes y sacar perfiles de la batimetría para calcular el área de sedimento en cada perfil y así poder realizar una aproximación del volumen de arena contenido en dicho sector. Sobre esos mismos perfiles situar el perfil de Bernabeu calculado y realizar el mismo cálculo de volumen. Posteriormente se suman los volúmenes de la situación actual y se les resta la suma de todos los volúmenes de Bernabeu, situación futura tras construcción del espigón y desarrollo de la playa. El objetivo es que dicha operación resulte cero, lo cual significará que el balance de volúmenes está compensado y hemos encontrado el equilibrio. En caso de que dicha operación resulte positiva, el volumen actual de arena es mayor que el necesario para la generación de la playa de equilibrio por lo que salvo que se proceda a la retirada de arena, la línea de costa avanzará hasta acomodar el volumen sobrante en dicho avance. En el caso contrario, si el resultado es negativo, el volumen de arena necesario para la generación de la playa de equilibrio para una misma línea de costa es mayor lo que resultará en un retroceso de la línea de costa actual hasta contar con el volumen necesario excepto en el caso de producirse un incremento de sedimento por vías externas ya bien sea de forma natural a través de la ensenada debido a algún temporal o rellenando artificialmente la playa con arena de otro lugar.

Para comenzar, sobre la forma en planta de equilibrio obtenida en el SMC extraemos 11 perfiles que comiencen en la línea de costa, existe una herramienta en dicho programa capaz de sacar el corte con la batimetría de las proyecciones en planta que se deseen. En nuestro caso han sido los representados en la siguiente figura.

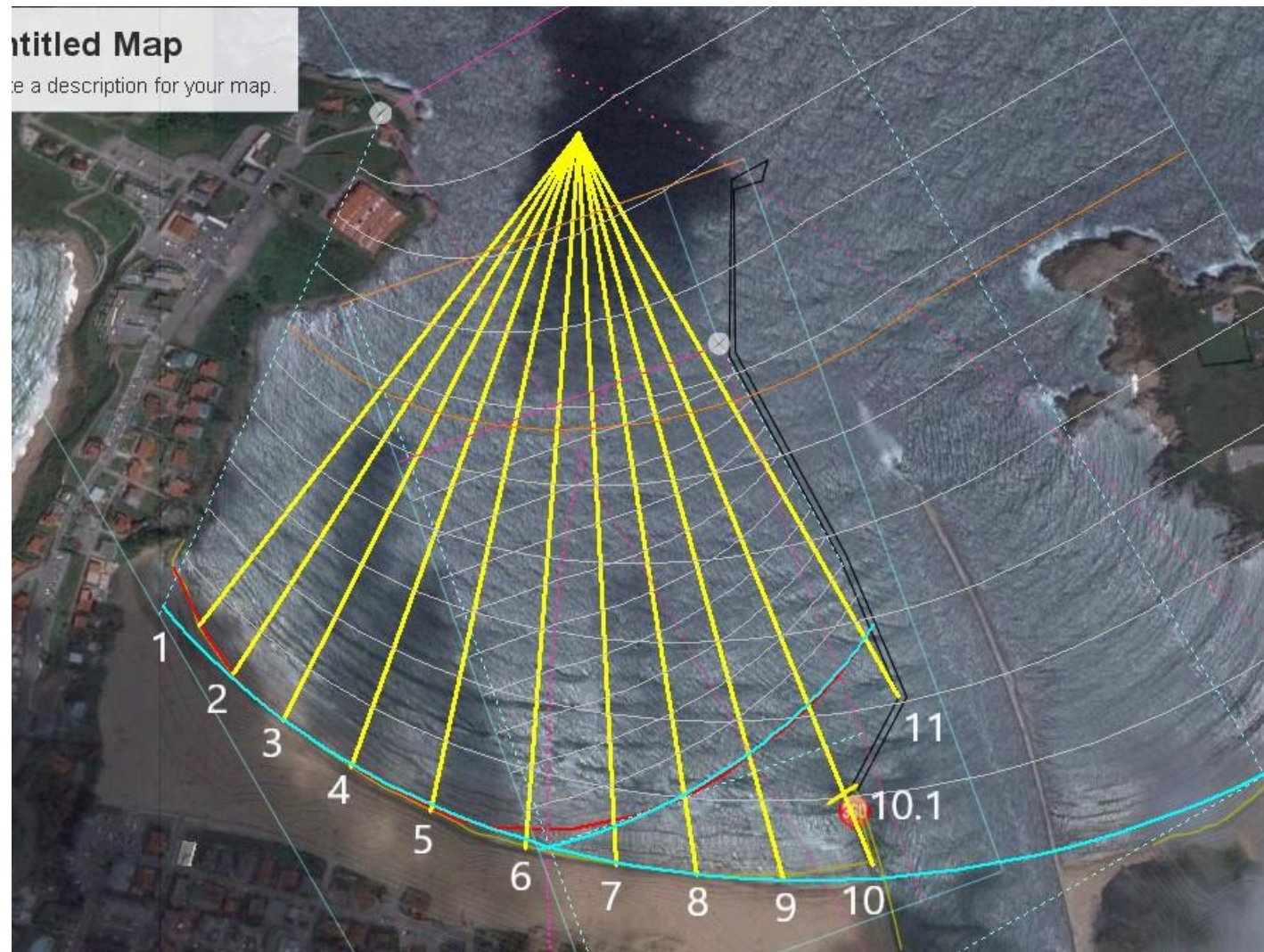


Figura 4.32 Esquema de los perfiles tomados para el estudio.

Continuamos dibujando cada perfil y situando sobre él el perfil de Bernabeu. En el extremo final del perfil de Bernabeu, una vez alcanzada la cota h_a , si el perfil actual está por encima, continuará a la cota h_a en línea recta hasta encontrarse con el perfil y si por el contrario el perfil actual está por debajo, el de Bernabeu bajará con pendiente 1:12 hasta encontrarse con el actual. Para la correcta colocación del perfil de Bernabeu deberemos medir la distancia de la línea de costa actual hasta la forma en planta de equilibrio anteriormente descrita. Los perfiles obtenidos son los siguientes:

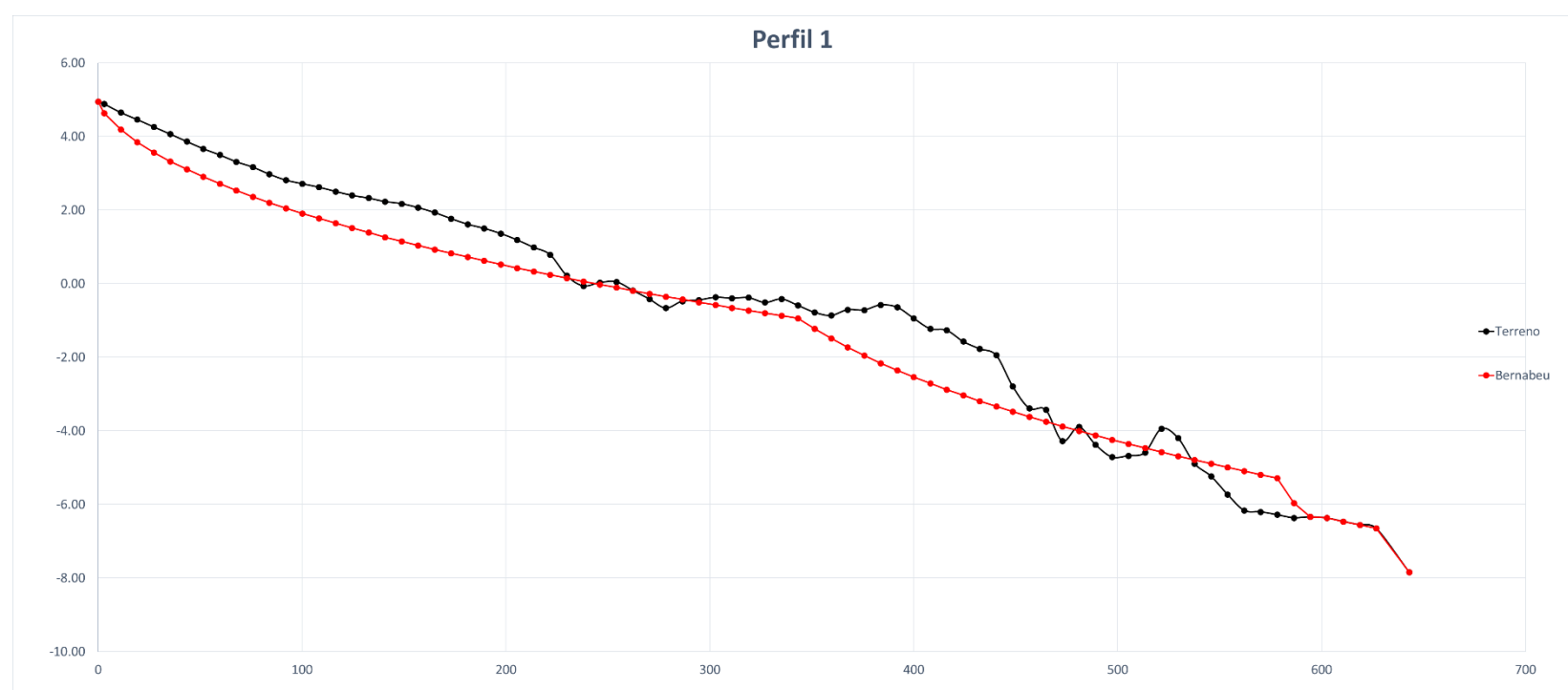


Figura 4.33 Perfil 1 sin avance.

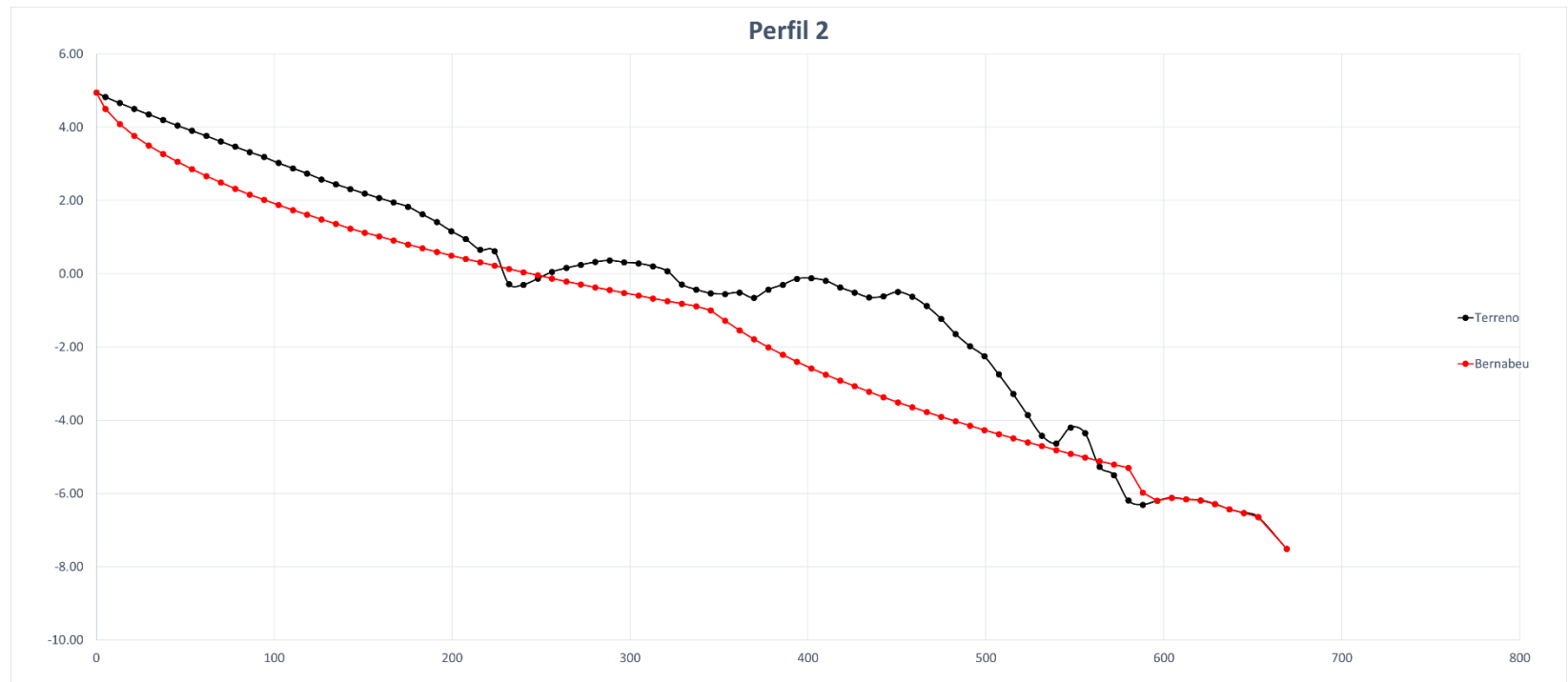


Figura 4.34 Perfil 2 sin avance.

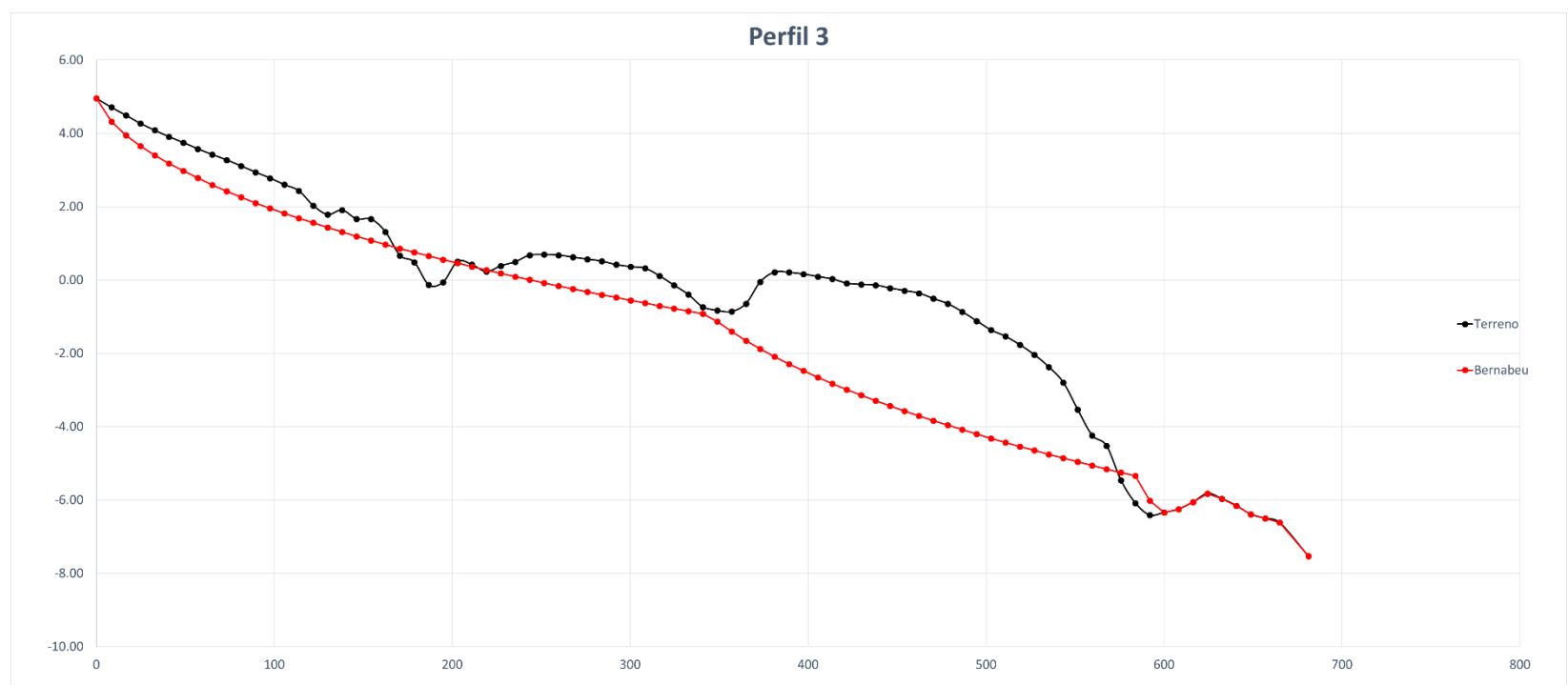


Figura 4.35 Perfil 3 sin avance.

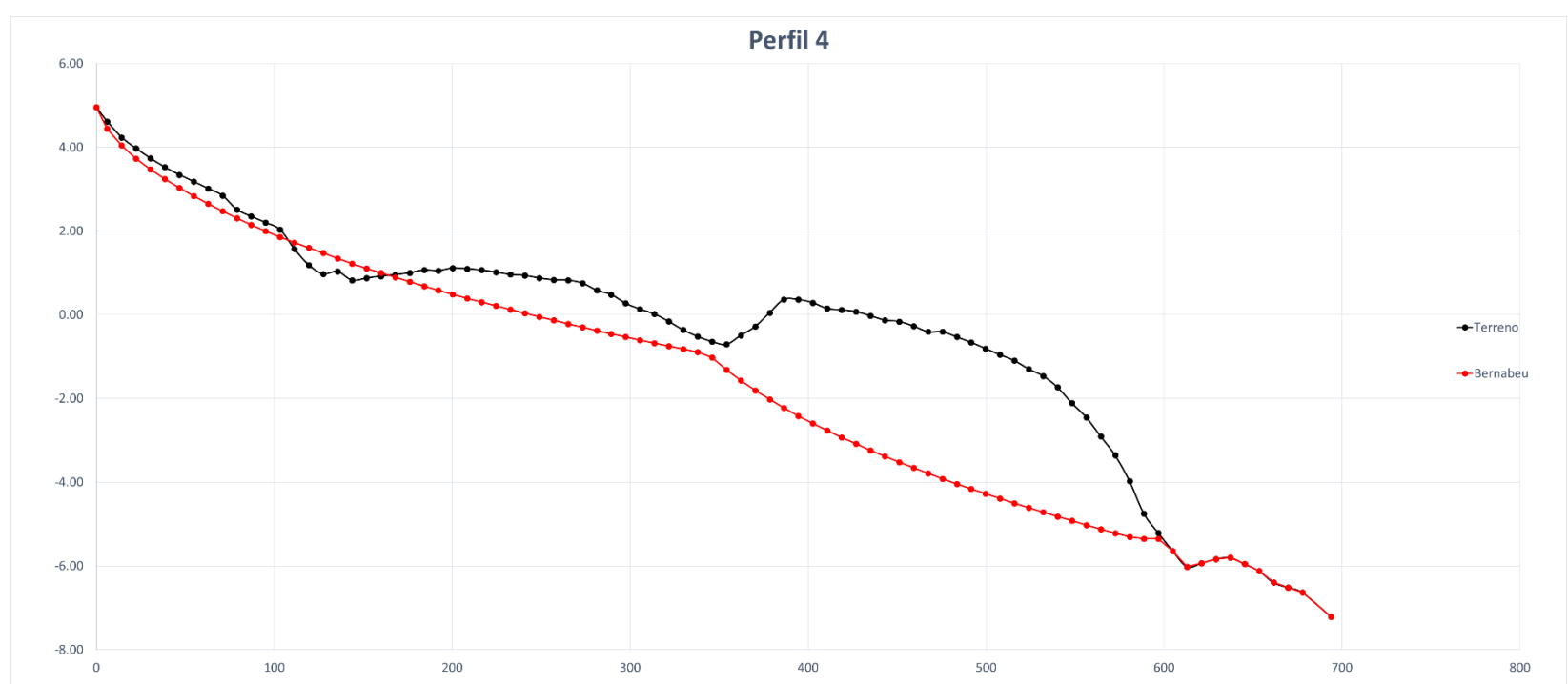


Figura 4.36 Perfil 4 sin avance.

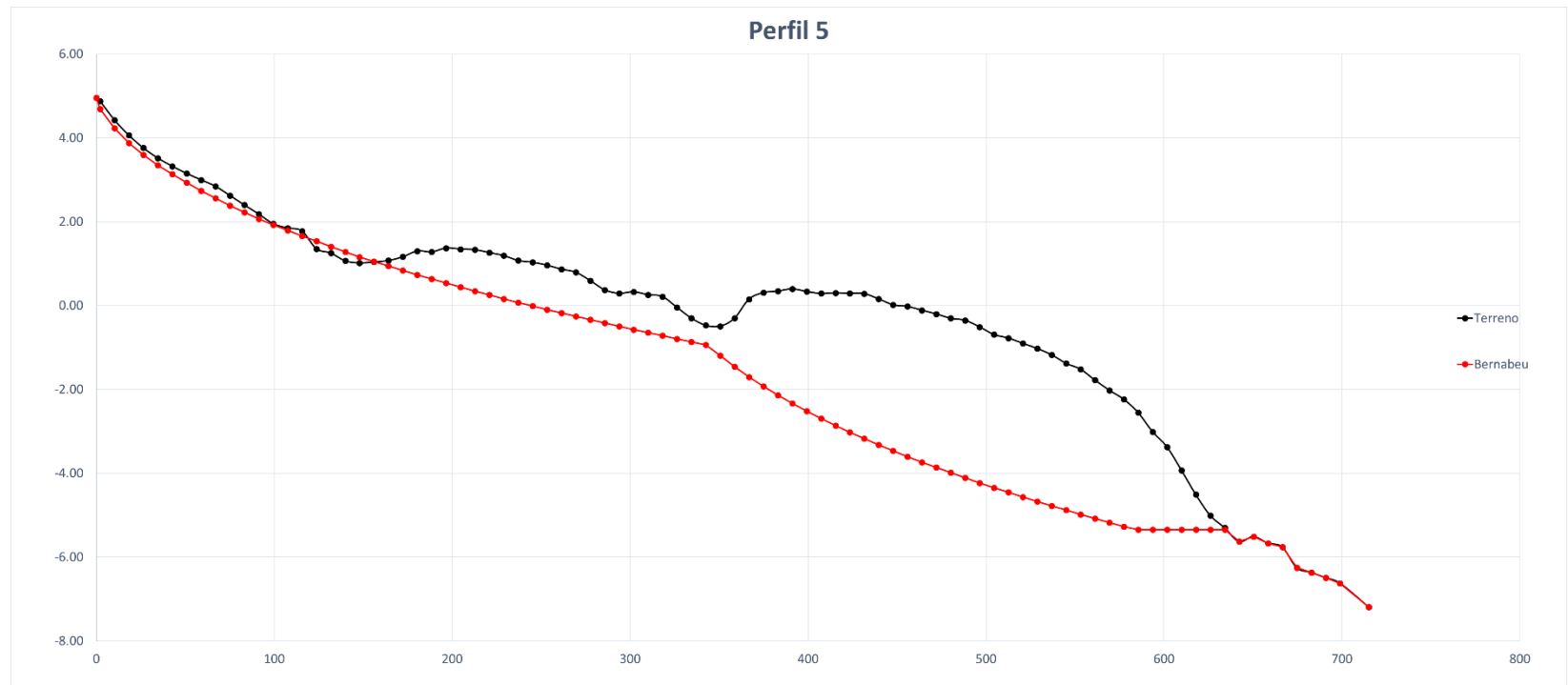


Figura 4.37 Perfil 5 sin avance.

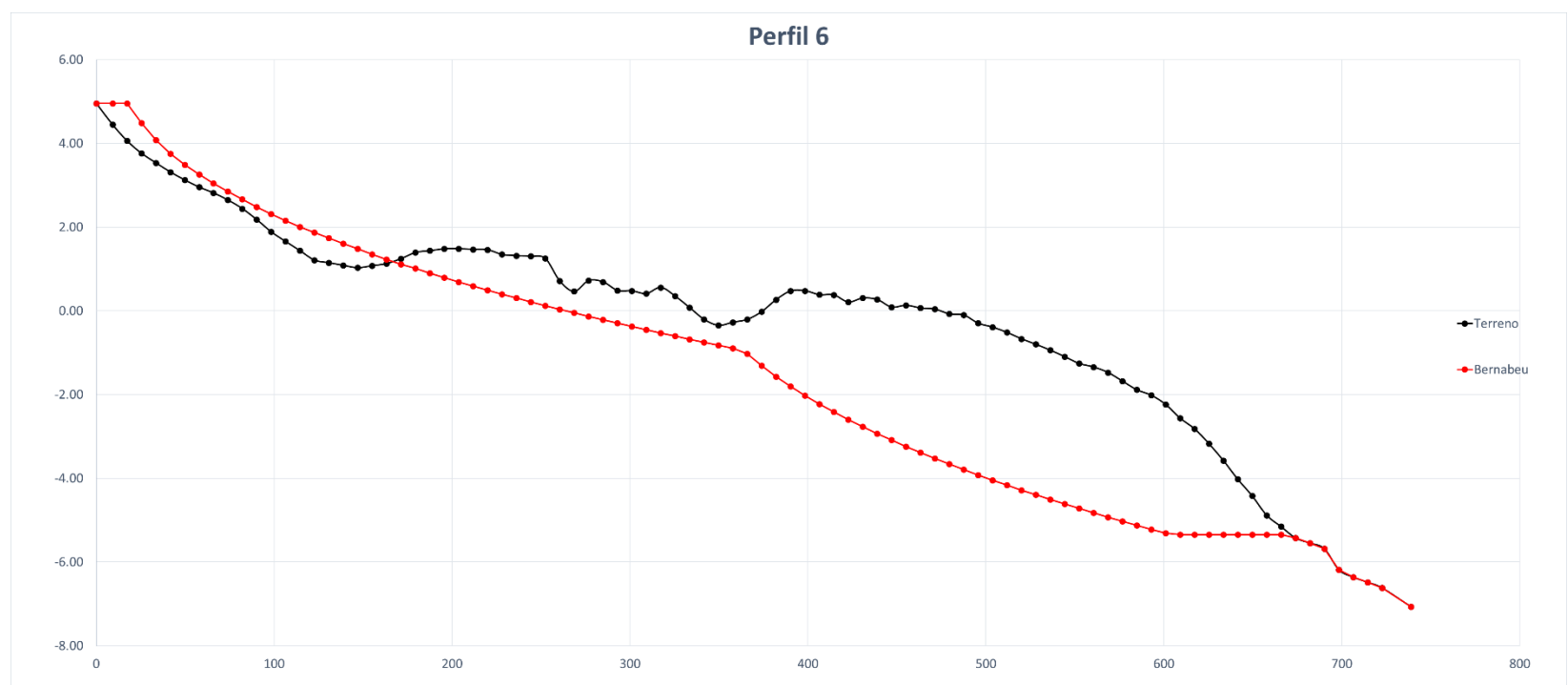


Figura 4.38 Perfil 6 sin avance.

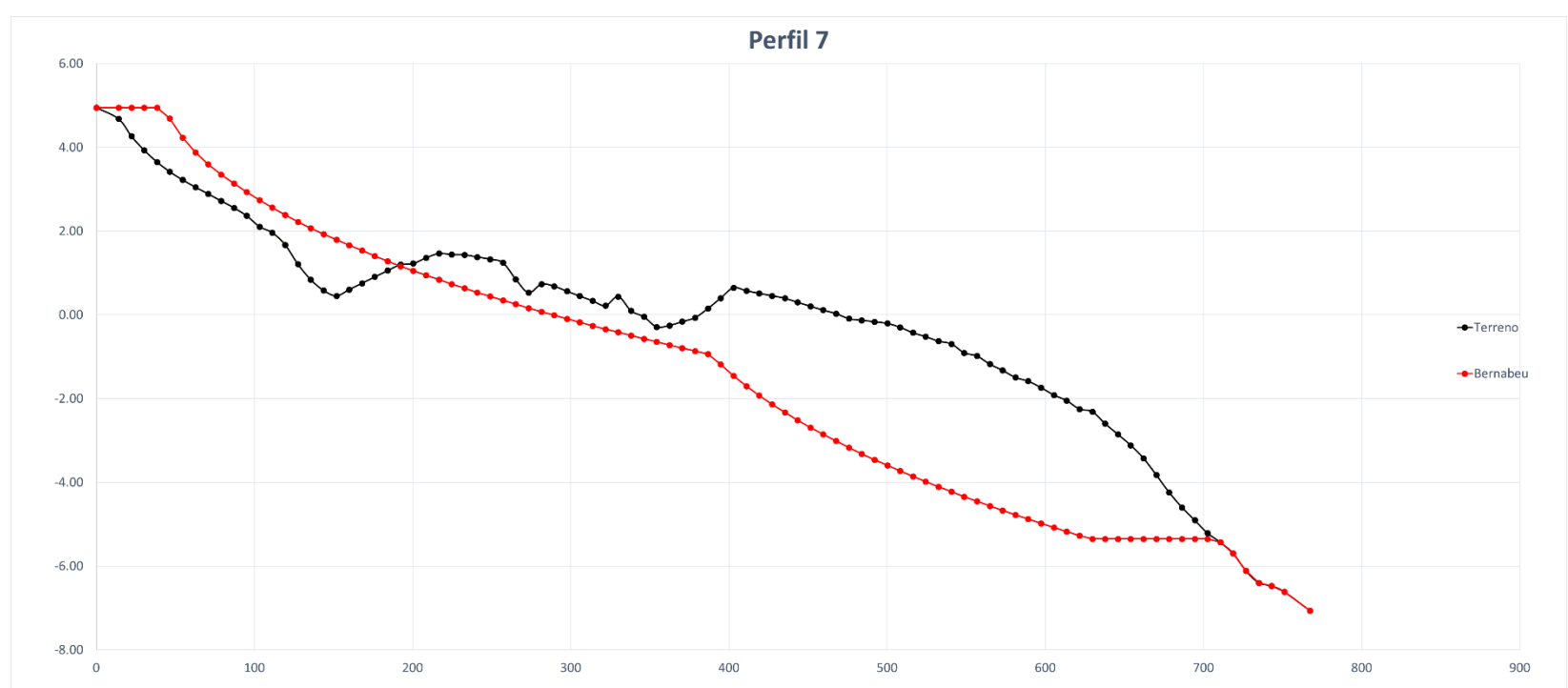


Figura 4.39 Perfil 7 sin avance.

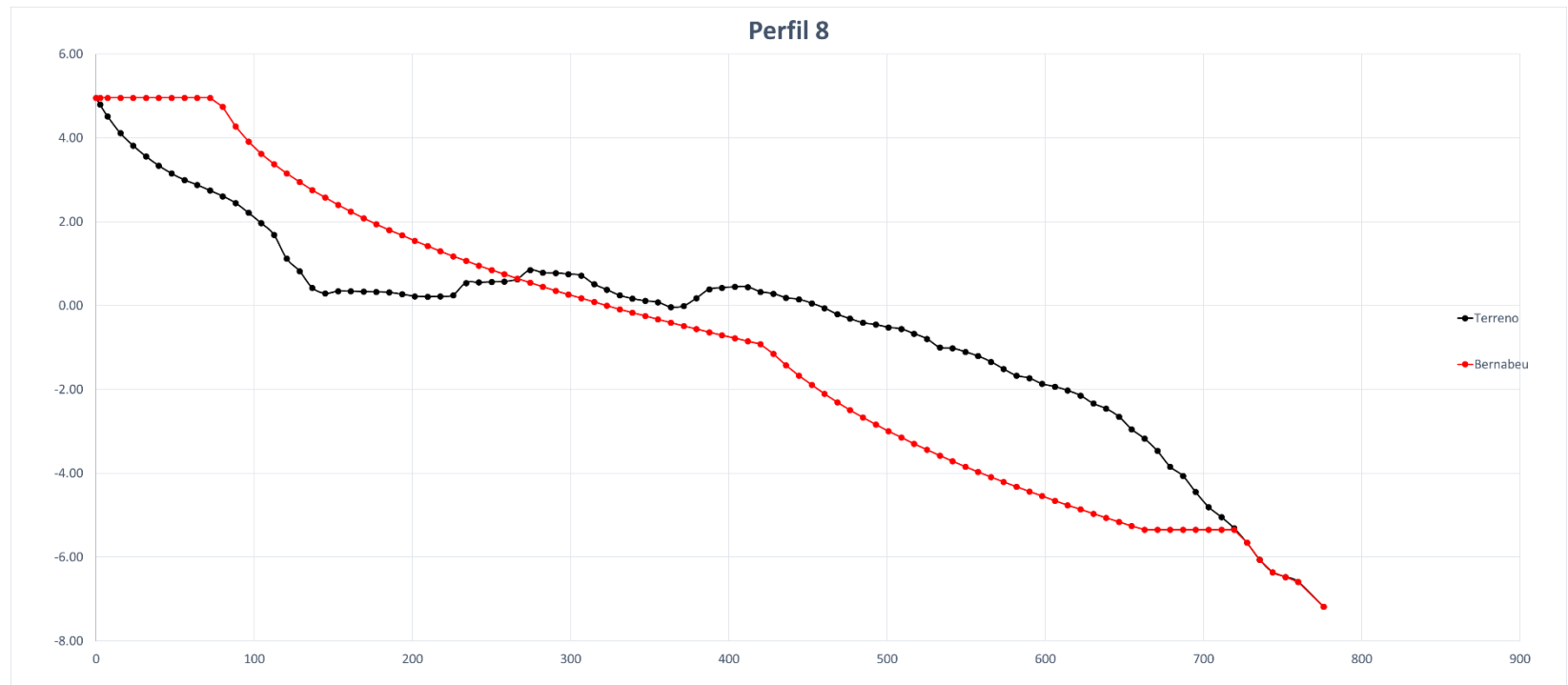


Figura 4.40 Perfil 8 sin avance.

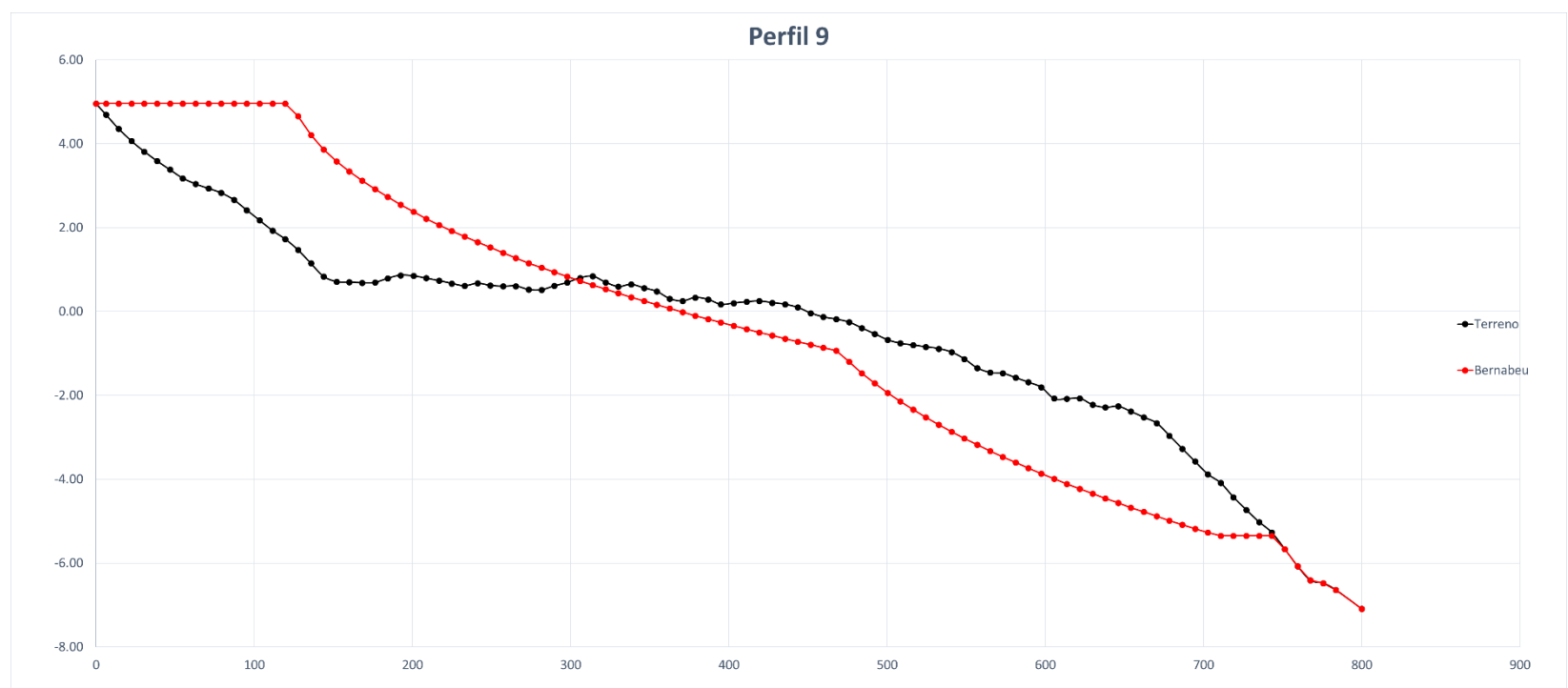


Figura 4.41 Perfil 9 sin avance.

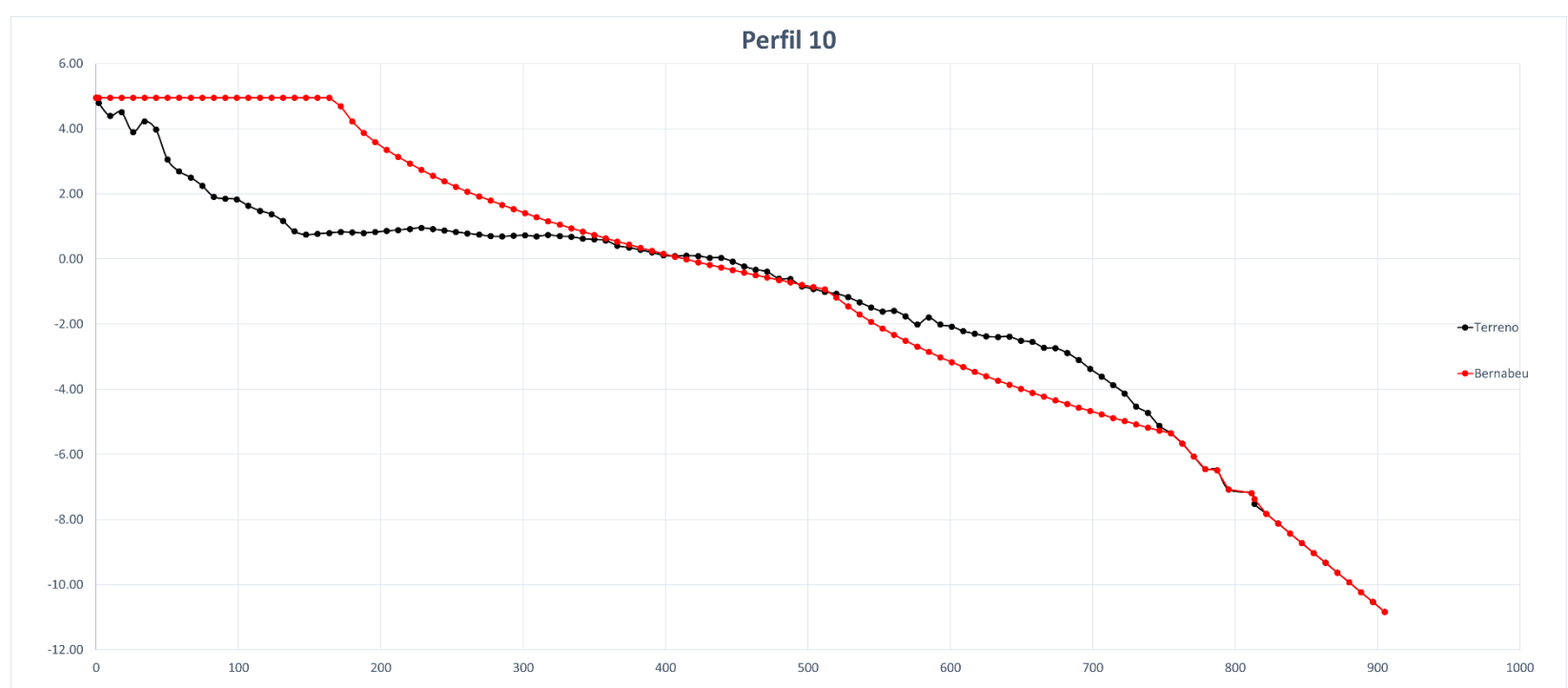


Figura 4.42 Perfil 10 sin avance.

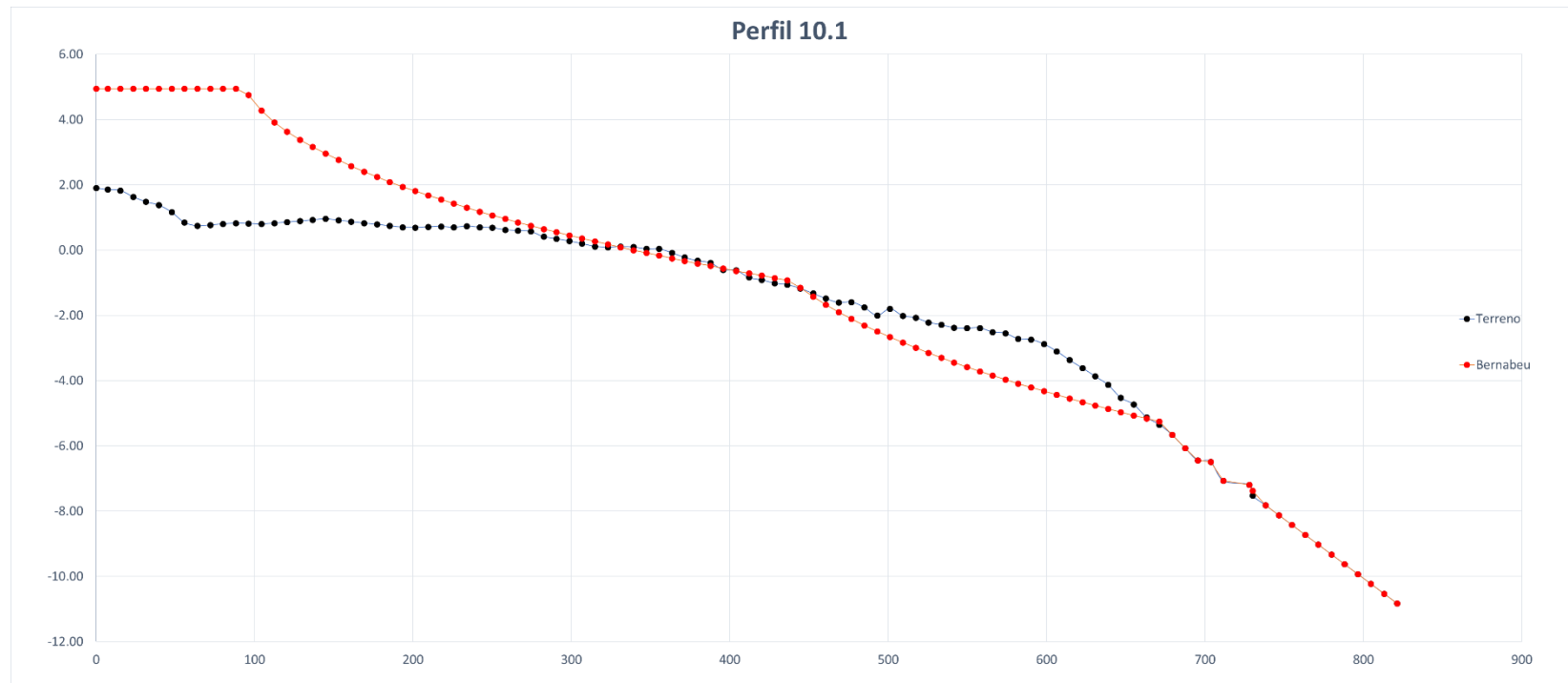


Figura 4.43 Perfil 10.1 sin avance.

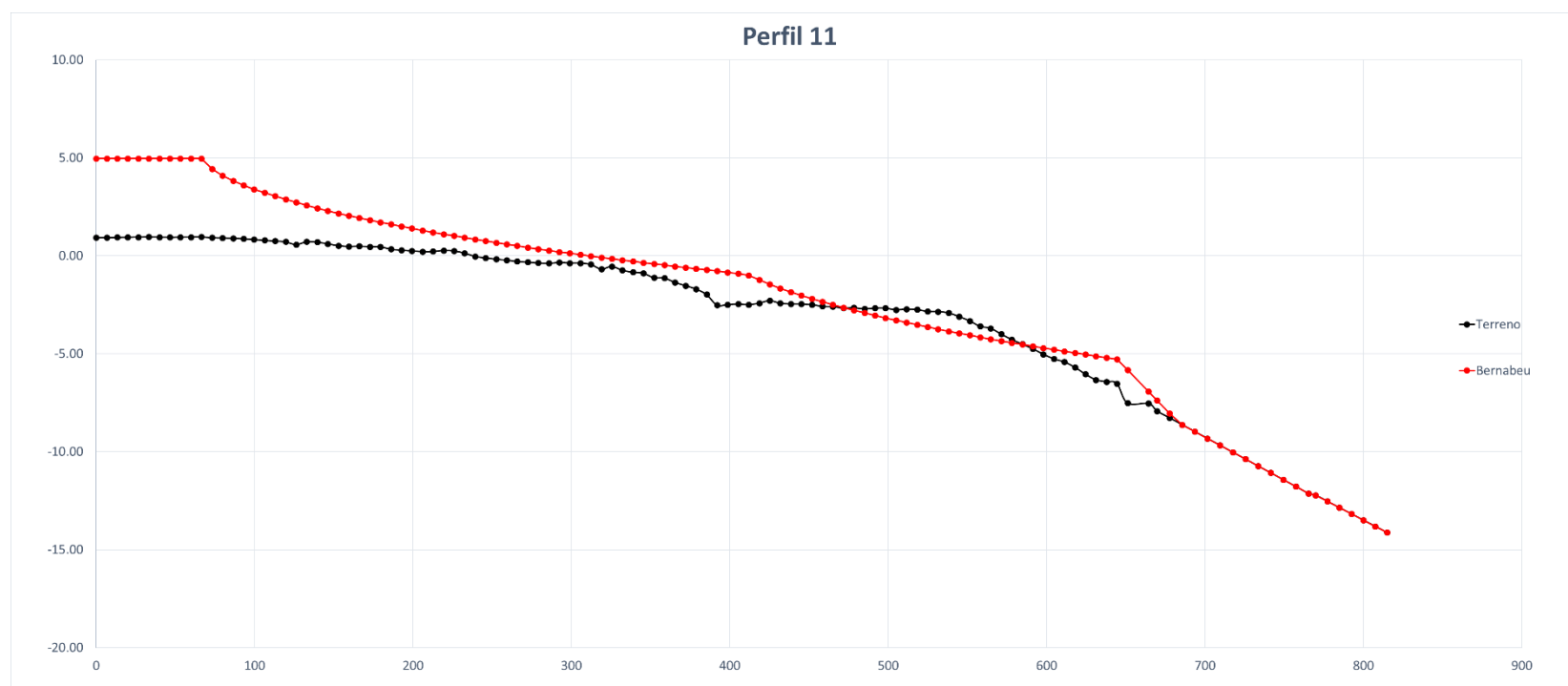


Figura 4.44 Perfil 11 sin avance.

Tras dibujar los perfiles, se calcula el área de cada uno de los dos perfiles sobre una cota lo suficientemente baja como para que ninguno de los dos perfiles la sobrepase y restar ambas áreas de tal forma que obtenemos un valor, positivo en caso de encontrar más arena en el perfil actual que en el de Bernabeu y negativo en el caso contrario. Medimos la distancia entre perfiles y multiplicamos esa distancia por el área del perfil correspondiente de tal forma que asumimos que esa diferencia de área se mantiene en todo el sector en el que aplicamos el perfil generando así un volumen de arena sobrante o restante. Una vez tenemos todos los volúmenes con su signo, los sumamos y obtenemos el volumen del conjunto. Se pretende que este volumen sea cercano a cero lo cual significará que la arena restante de ciertas áreas se compensará con la sobrante en otras. Como ya hemos comentado anteriormente, en caso de este número ser positivo, implicará un avance de la playa y en el caso contrario un retroceso. La tabla correspondiente al cálculo inicial con un avance de 0 metros es la siguiente:



Equilibrio de perfiles	diferencia (m2)	metros de avance	anchura (m)	volumen (m3)
Perfil 1	288.026244	0	28.29	8148.26244
Perfil 2	634.444196	0	60.24	38218.9183
Perfil 3	708.362003	0	65.76	46581.8853
Perfil 4	794.541746	0	76.92	61116.1511
Perfil 5	979.035606	0	87.68	85841.8419
Perfil 6	926.985134	20	77.95	72258.4912
Perfil 7	826.034708	44.5	72.46	59854.4749
Perfil 8	352.836098	78.75	68.49	24165.7444
Perfil 9	29.9168177	125	79.95	2391.84957
Perfil 10	-471.813637	169.5	50.54	-23845.4612
Perfil 10.1	-443.936282	95.1	30	-13318.0884
Perfil 11	-768.401104	66.7	30	-23052.0331
TOTAL				338362.036 m3

Como podemos observar, la diferencia de volúmenes obtenida es positiva y bastante grande lo que implica un avance considerable de la playa. Para calcular dicho avance hay que iterar hasta conseguir una diferencia total cercana a cero. Para ello debemos volver al editor de playas de nuestro proyecto en el programa SMC y reducir en ambas playas por igual la distancia Y (distancia desde el foco hasta la línea de costa) tantos metros como los que deseamos de avance. Posteriormente deberemos volver a medir la distancia desde la línea de costa actual a la nueva línea de costa para avanzar el perfil de Bernabeu la distancia correspondiente en cada perfil debido a que el acorte de la distancia Y no es el mismo que a lo largo del tramo curvo de la forma de equilibrio por lo que hay que medir dicha distancia de nuevo para cada perfil y para cada iteración con un nuevo avance.

Tras distintas iteraciones el avance con una diferencia más cercana al cero ha resultado ser de 56 metros. Con un volumen de arena sobrante de 60 metros cúbicos.

Cabe destacar que este avance es una estimación, a parte de las asunciones que estamos tomando con anterioridad, también se está suponiendo que durante la construcción las perturbaciones que se produzcan en la zona debido a las obras o dragados para la colocación de espigón no retiran arena del sistema.



4 RESULTADOS

Finalmente, en un periodo inferior a diez años, la playa de la Concha se convertirá en una playa de tipo intermedio cuya forma en planta y los perfiles de equilibrio a lo largo de la ensenada para el avance resultante de 56 metros serán los mostrados en este apartado.

4.1 PLANTA DE EQUILIBRIO

En la siguiente figura vemos la línea de costa actual, en amarillo. Posteriormente la playa tomará la nueva forma de equilibrio sin ningún avance, esta nueva forma corresponde a la línea roja. Al verse sobrante de sedimento la playa comenzará a avanzar hasta alcanzar los 56 metros de avance representados en la figura por la línea verde.

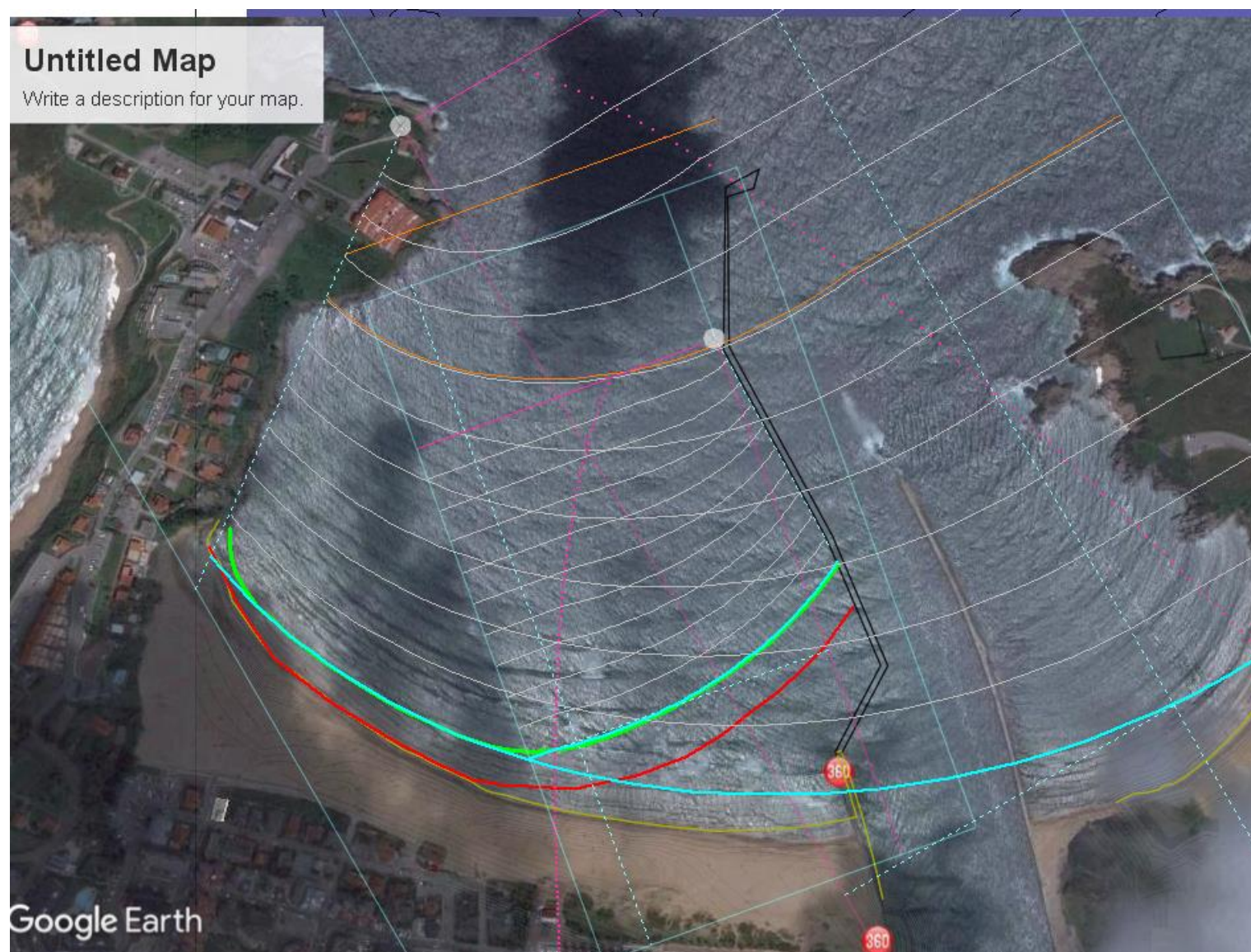


Figura 4.45 Forma en planta con avance de 56 metros



4.2 PERFILES DE EQUILIBRIO

Una vez realizado el avance, los perfiles de la playa tomarán la siguiente forma cuando estén completamente desarrollados:

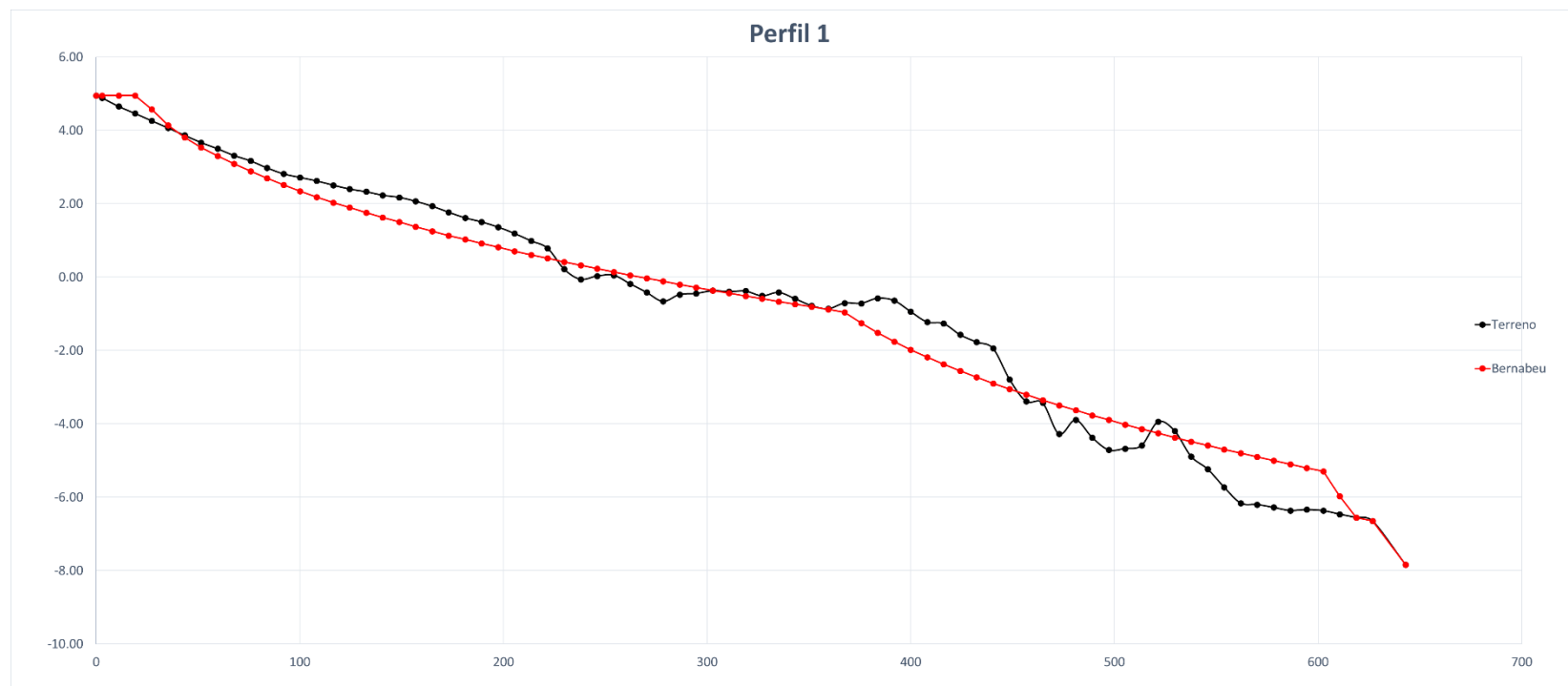


Figura 4.46 Perfil 1 con avance de 56 metros.

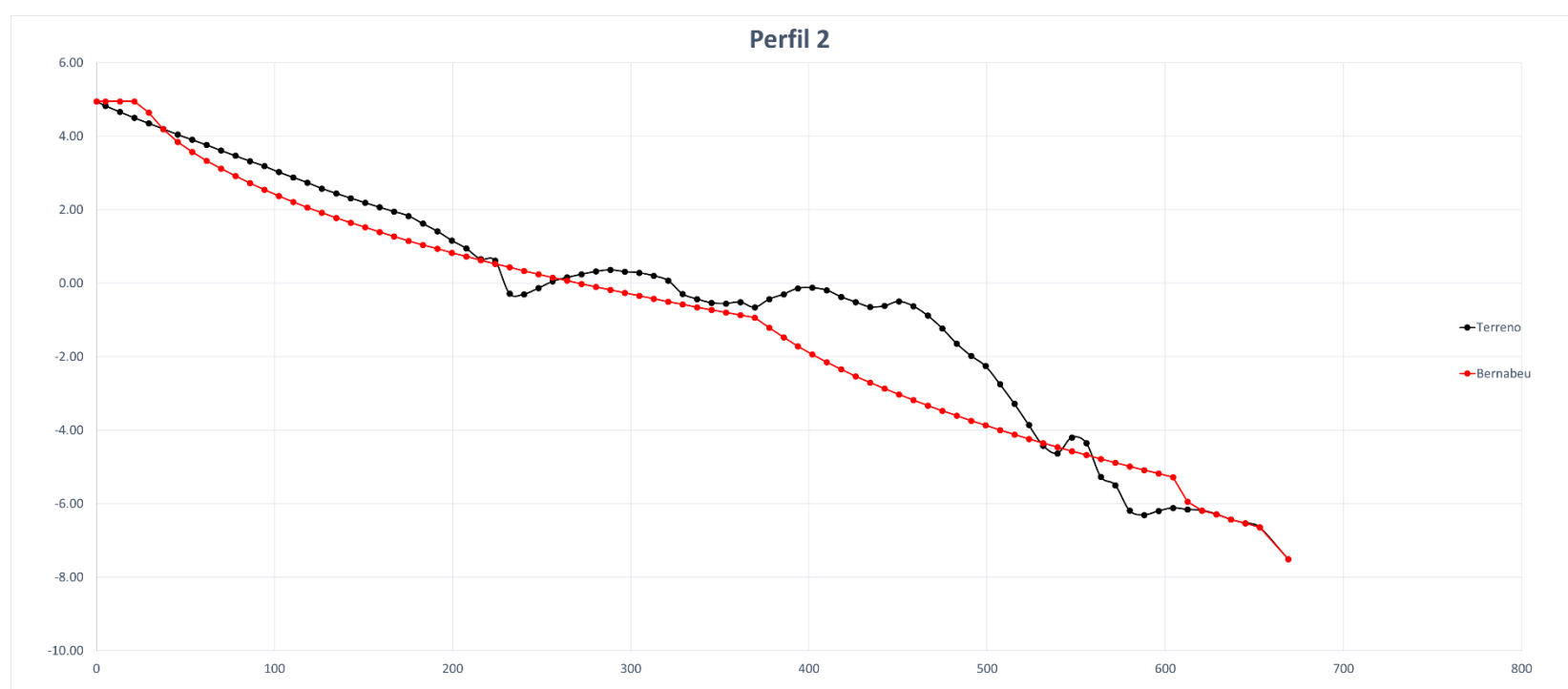


Figura 4.47 Perfil 2 con avance de 56 metros.

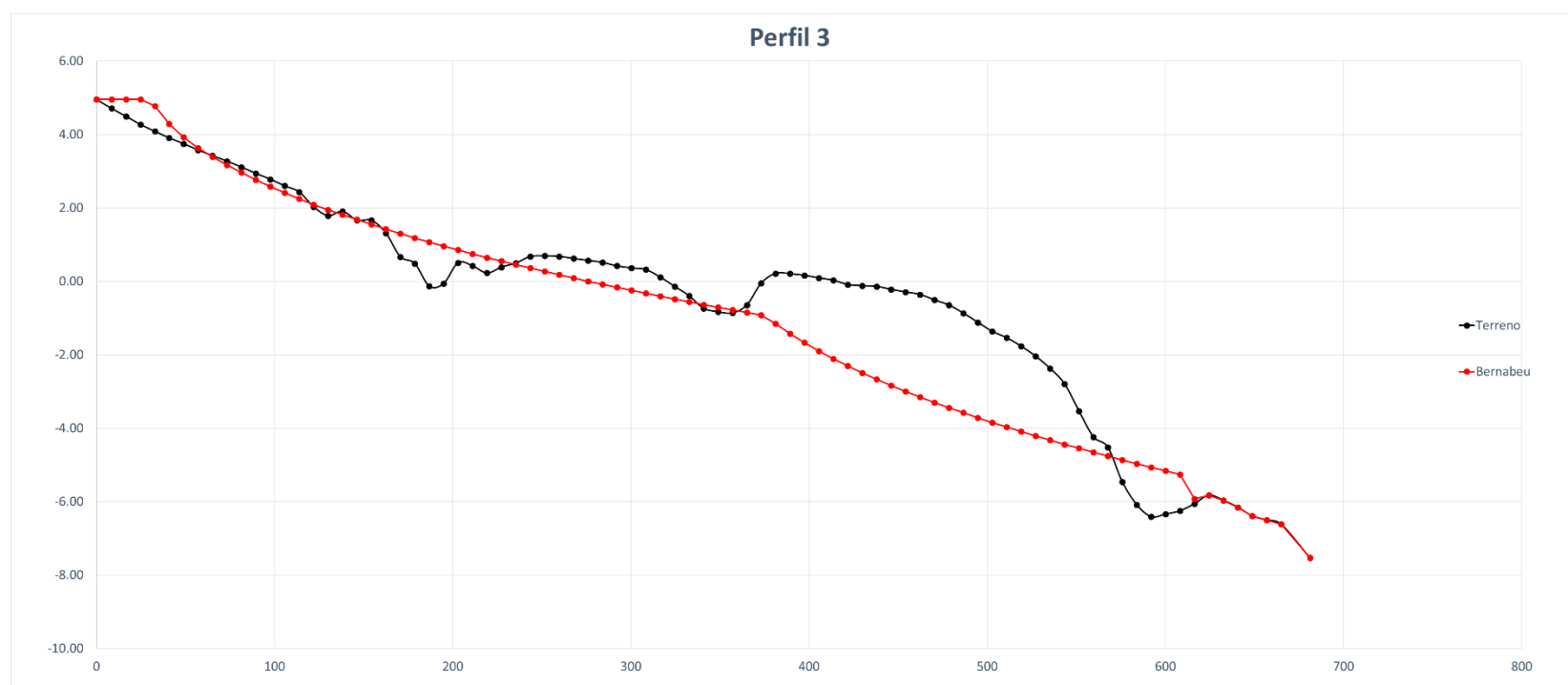




Figura 4.48 Perfil 3 con avance de 56 metros.

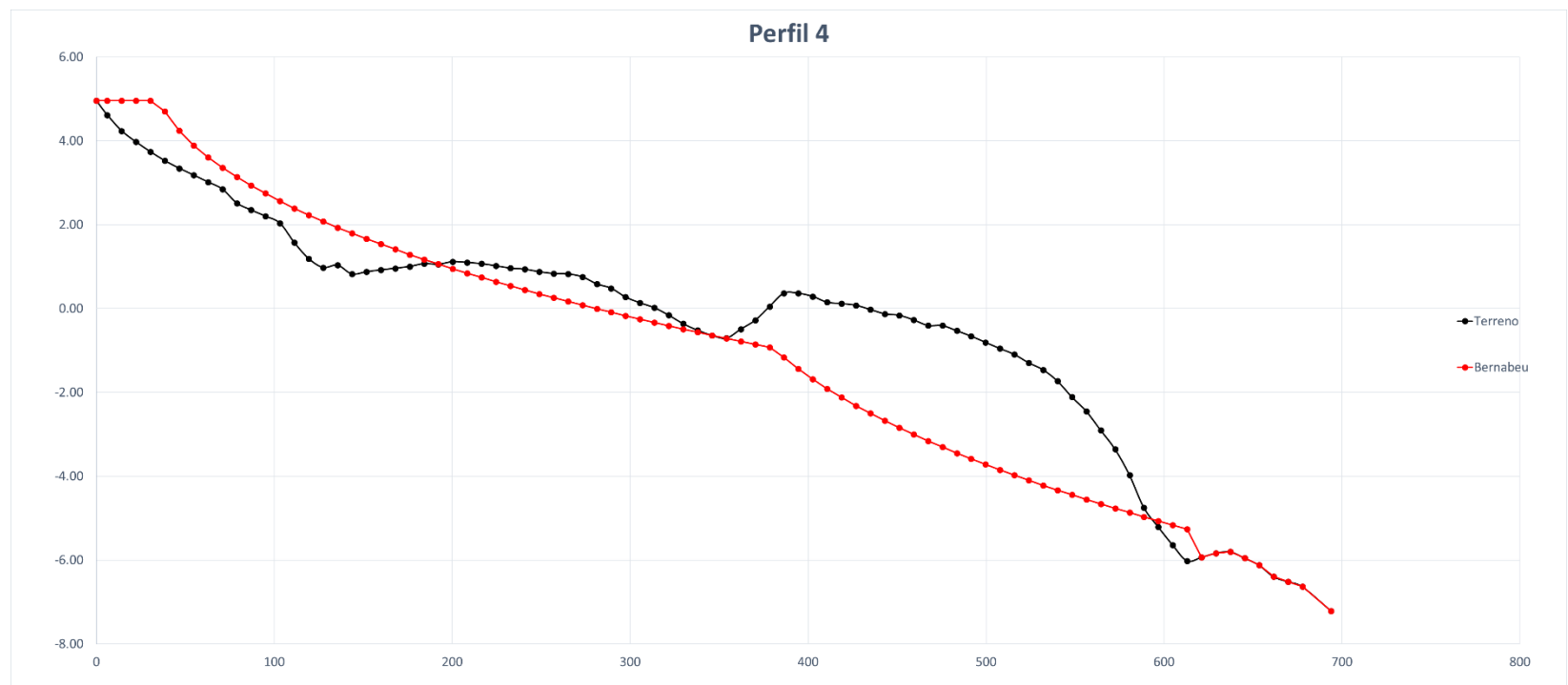


Figura 4.49 Perfil 4 con avance de 56 metros.

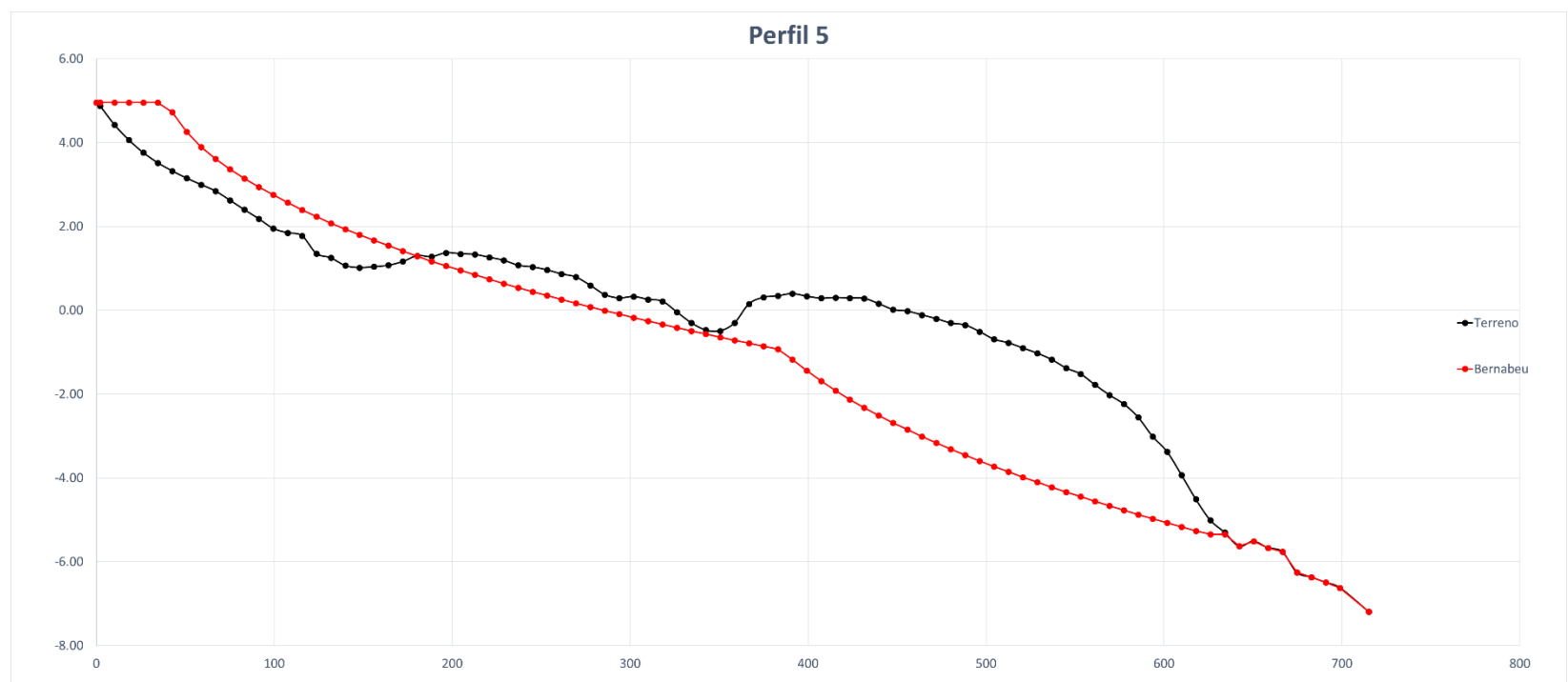


Figura 4.50 Perfil 5 con avance de 56 metros.

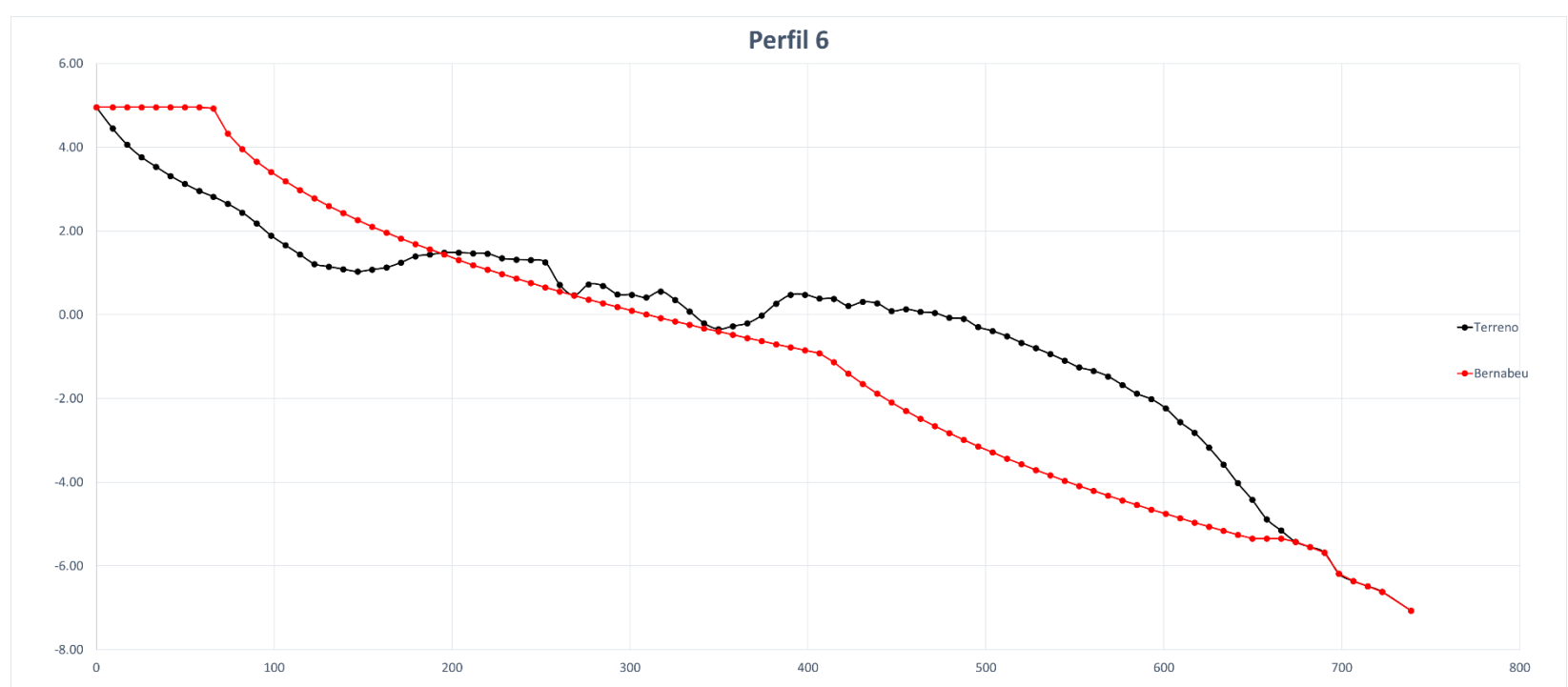


Figura 4.51 Perfil 6 con avance de 56 metros.

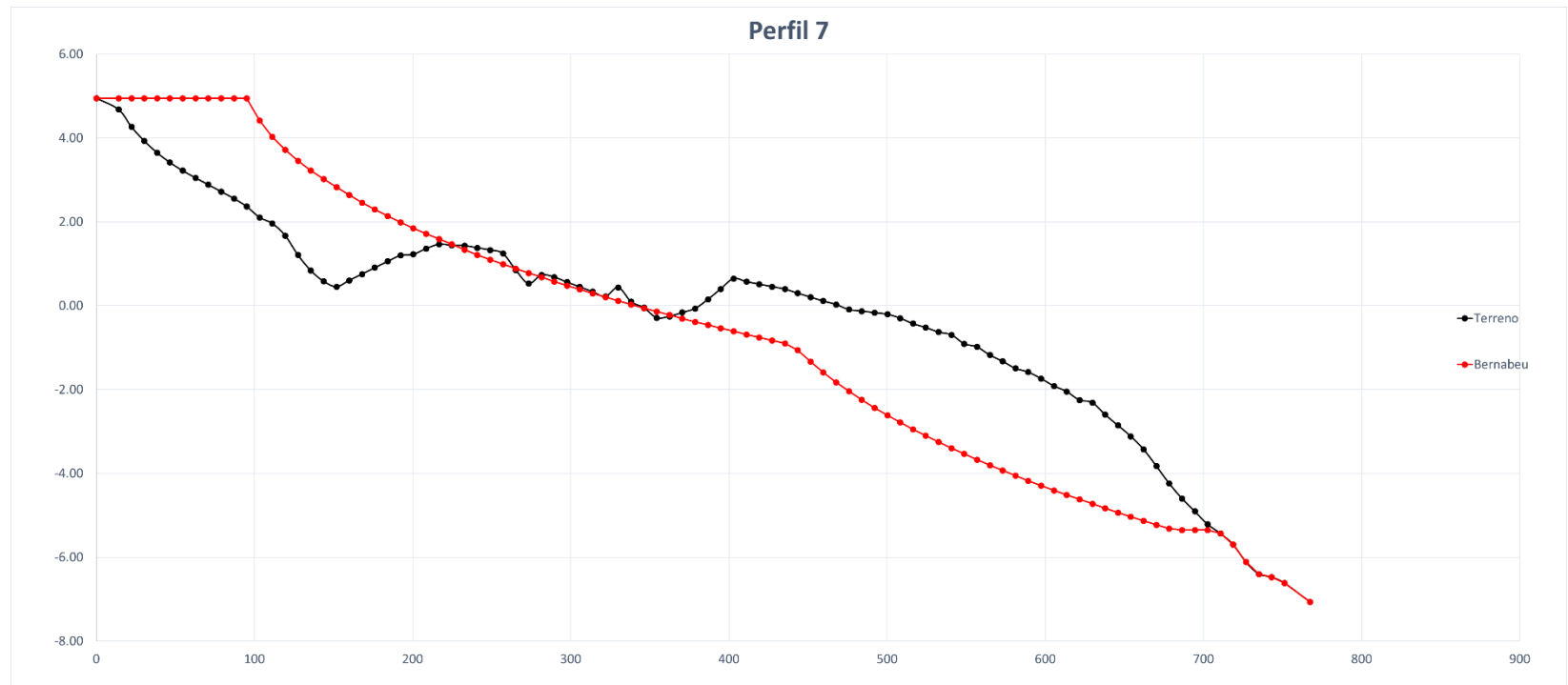


Figura 4.52 Perfil 7 con avance de 56 metros.

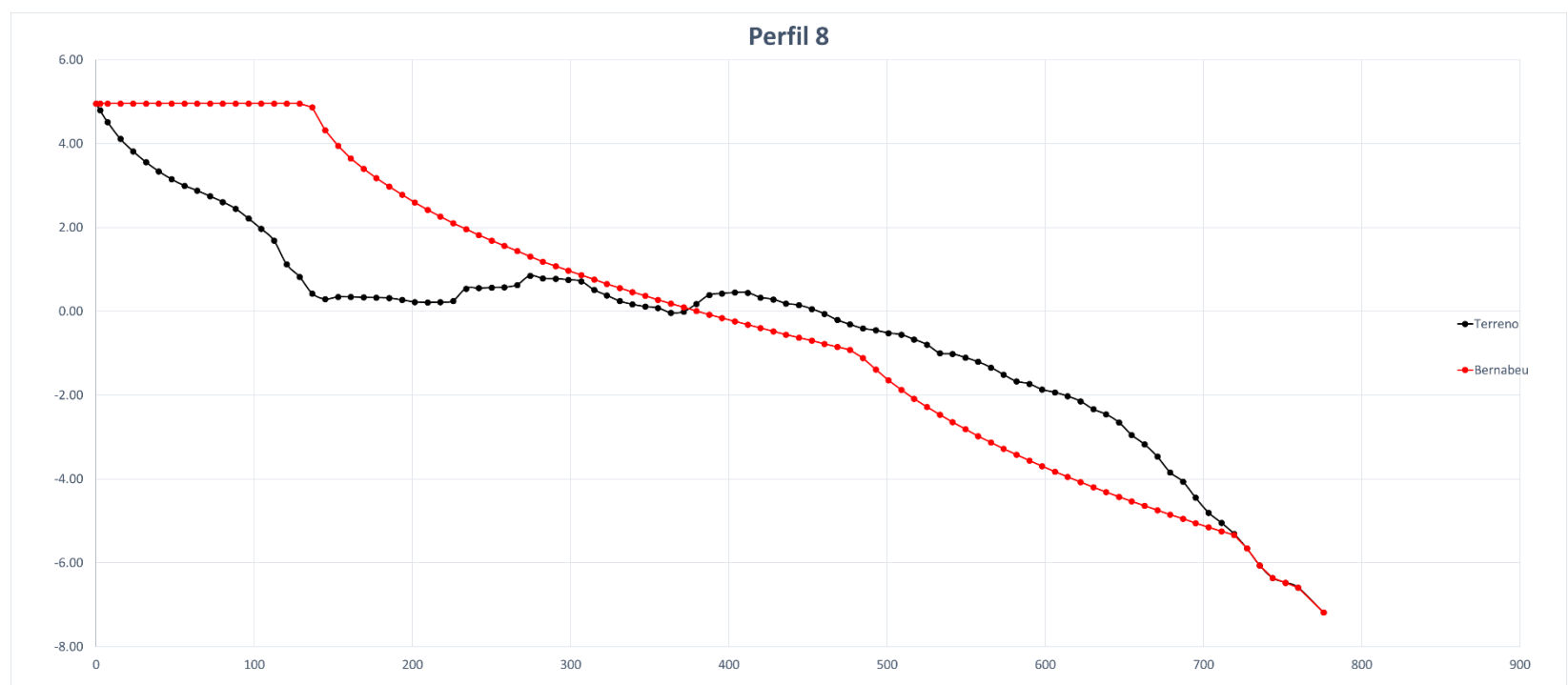


Figura 4.53 Perfil 8 con avance de 56 metros.

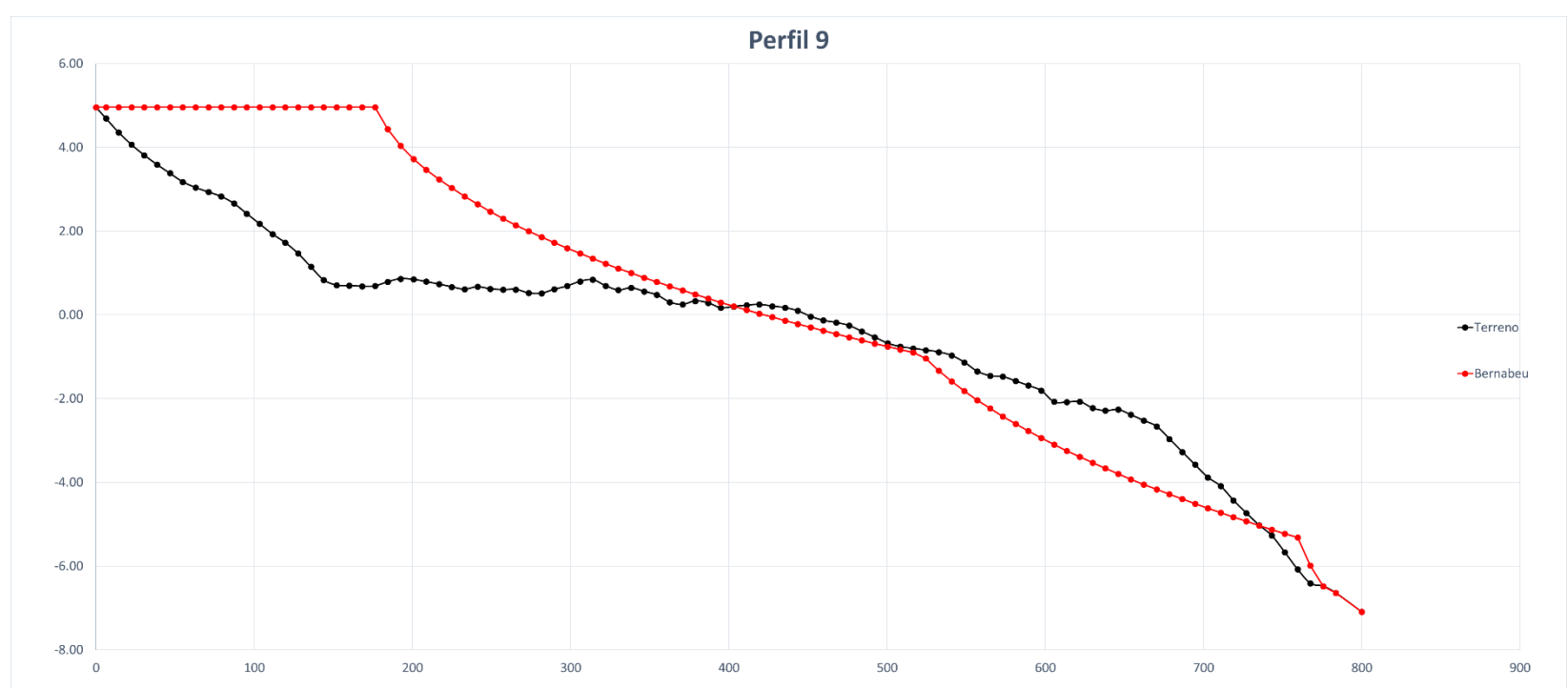


Figura 4.54 Perfil 9 con avance de 56 metros.

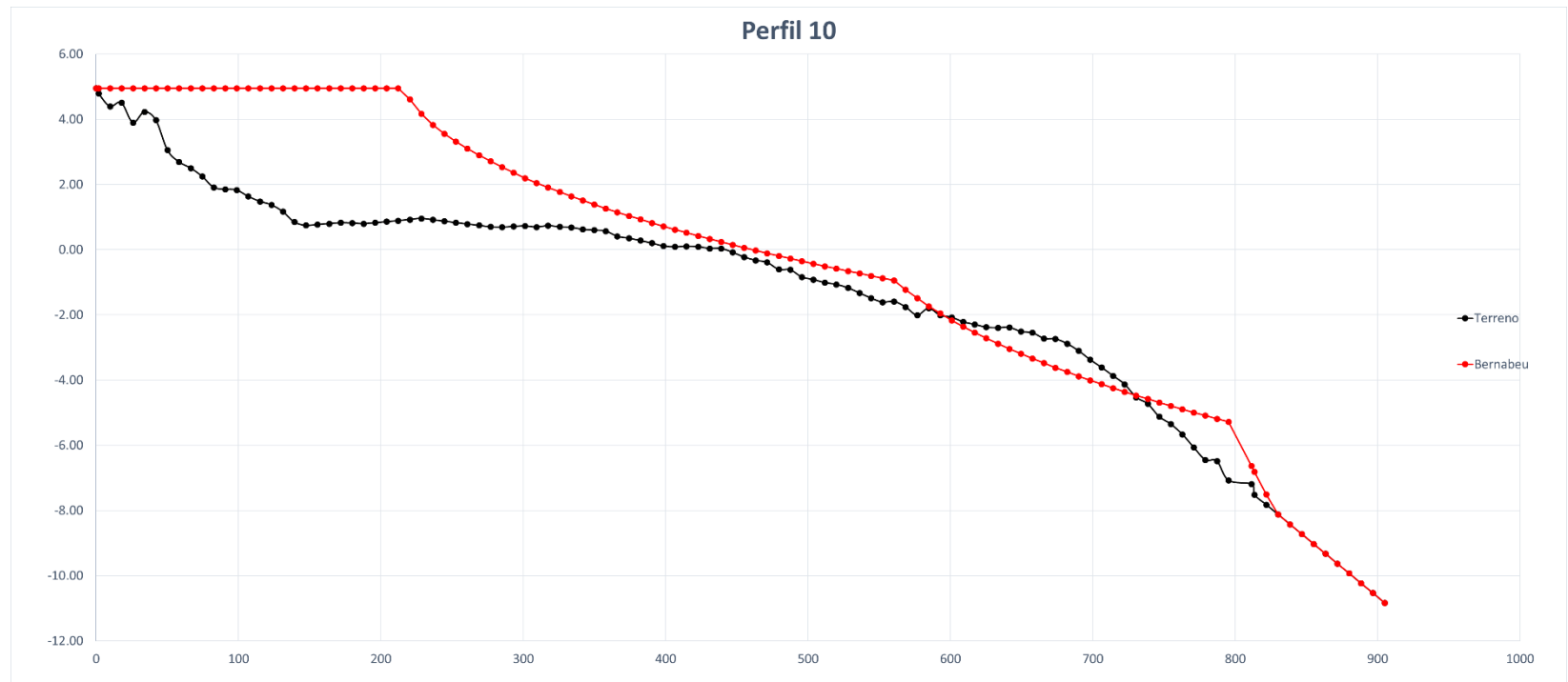


Figura 4.55 Perfil 10 con avance de 56 metros.

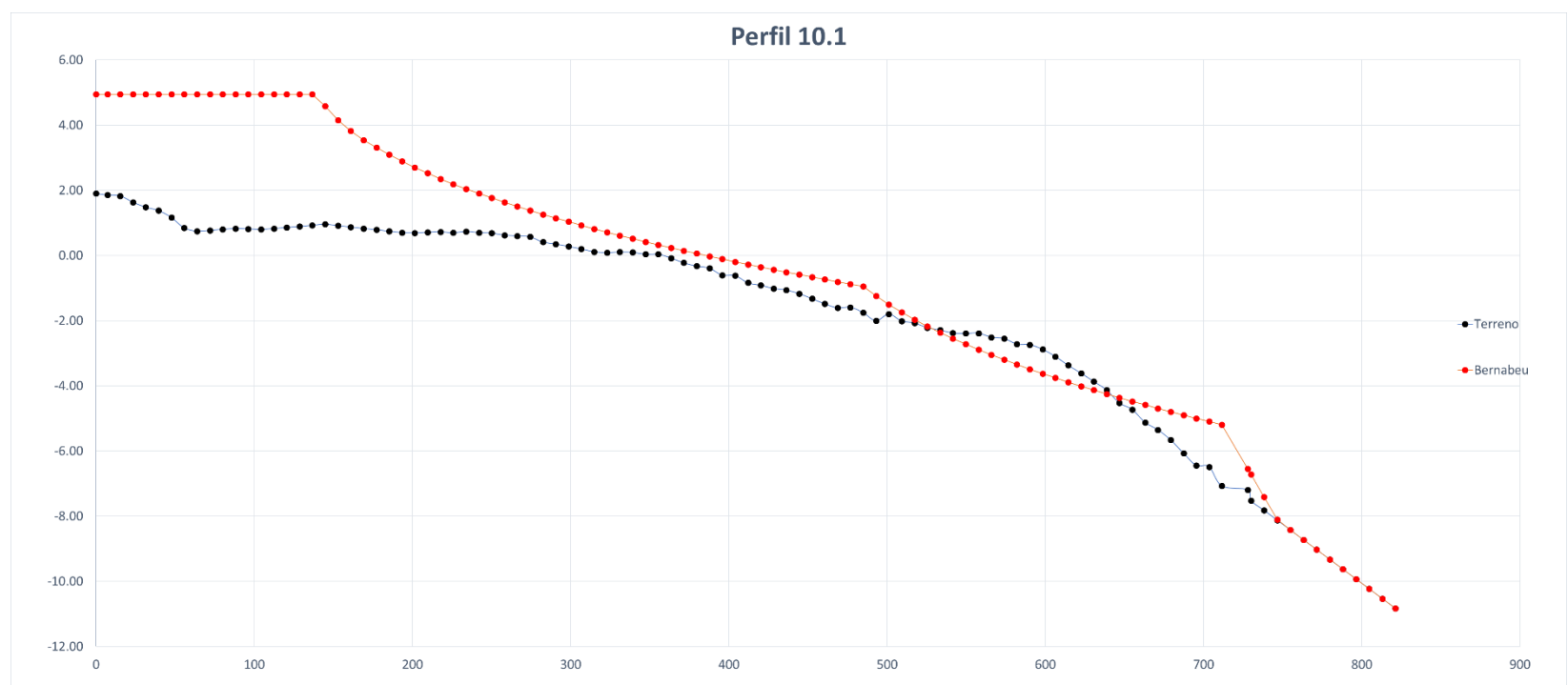


Figura 4.56 Perfil 10.1 con avance de 56 metros.

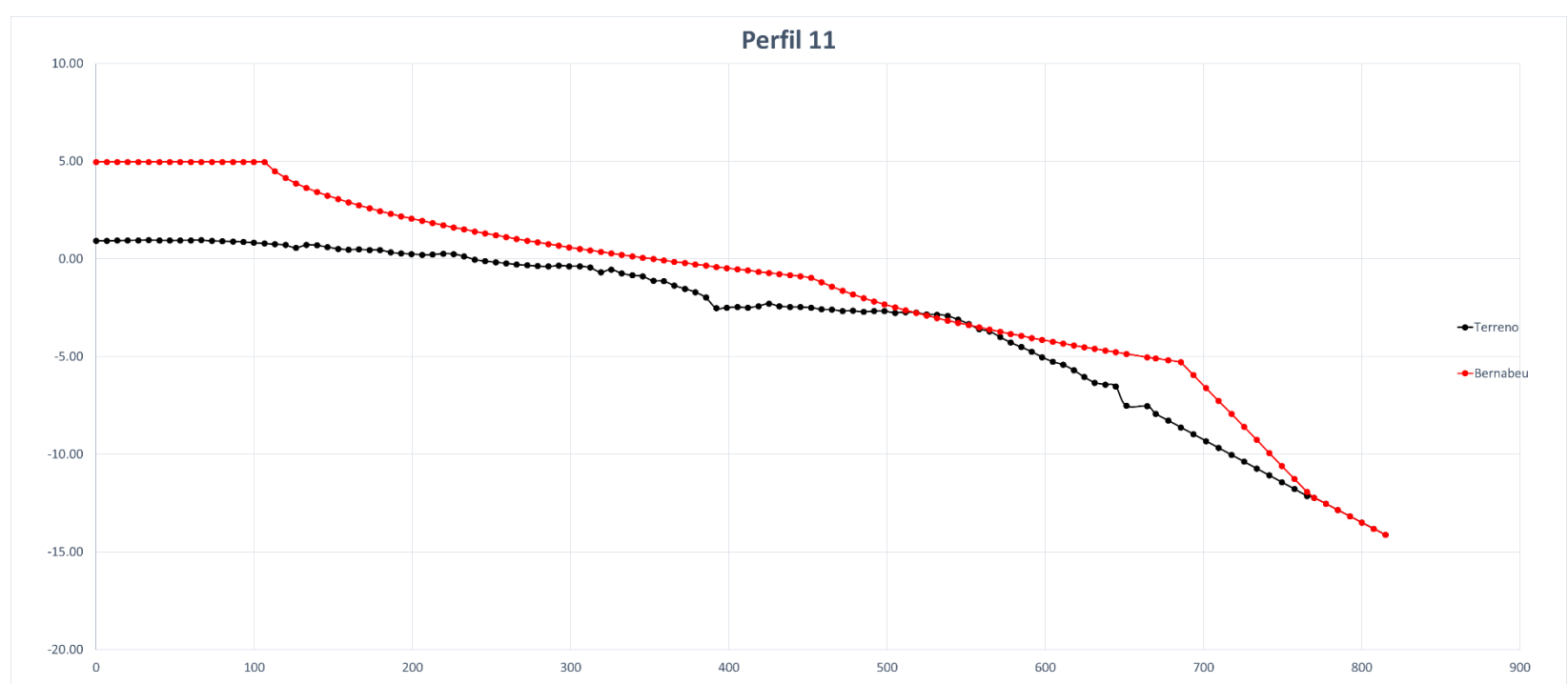


Figura 4.57 Perfil 11 con avance de 56 metros.



4.3 BALANCE DE VOLÚMENES

Balance de volúmenes para un avance de 56 metros.

Equilibrio de perfiles	diferencia (m2)	metros de avance	anchura (m)	volumen (m3)
Perfil 1	23.55	23.3	28.29	666.30
Perfil 2	341.53	26.6	60.24	20573.78
Perfil 3	359.02	31.9	65.76	23608.94
Perfil 4	410.83	36.6	76.92	31600.77
Perfil 5	557.06	41.05	87.68	48842.65
Perfil 6	454.73	65.8	77.95	35446.15
Perfil 7	287.79	96.7	72.46	20853.13
Perfil 8	-240.54	136.3	68.49	-16474.65
Perfil 9	-528.35	178	79.95	-42241.38
Perfil 10	-1018.68	216.9	50.54	-51483.96
Perfil 10.1	-978.55	141.1	30	-29356.58
Perfil 11	-1399.08	107.6	30	-41972.39
			TOTAL	62.76 m3